

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов
 18.04.01 Химическая технология топлива и газа
 Отделение химической инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы |
|--|
| Математическое моделирование процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив |

УДК 665.753.4:665.637.73

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------------|---------|------|
| 2ДМ82 | Маужигунова Екатерина Николаевна | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Белинская Наталия Сергеевна | К.Т.Н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Маланина Вероника Анатольевна | К.Э.Н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Скачкова Лариса Александровна | | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|--------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Юрьев Егор Михайлович | К.Т.Н. | | |

Томск – 2020 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП (18.04.01)

| Код | Результат обучения | Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон |
|-------------------------------------|---|---|
| Профессиональные компетенции | | |
| P1 | Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности | Требования ФГОС (ПК1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1), CDIO(п. 1.1, 4.1, 4.3, 4.8) |
| P2 | Применять глубокие знания в области современных технологий химического производства для решения междисциплинарных инженерных задач | Требования ФГОС (ПК7,11,17,18, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2), CDIO (п. 1.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6) |
| P3 | Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием материалов и изделий, с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии | Требования ФГОС (ПК-1,5,8,9, ОК-2,3), Критерий 5 АИОР (пп.1.2), CDIO (1.2, 2.1, 4.5) |
| P4 | Разрабатывать новые химико-технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды | Требования ФГОС (ПК11,26,27,28), Критерий 5 АИОР (п.1.3) CDIO (п.1.3, 4.4, 4.7) |
| P5 | Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий | Требования ФГОС (ПК4,21,22,23,24,25, ОК-4,6), Критерий 5 АИОР (п.1.4), CDIO (п. 2.2) |
| P6 | Внедрять, эксплуатировать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды | Требования ФГОС (ПК6,10,12,13,14,15, ОК-6,13,15), Критерий 5 АИОР (п.1.5) CDIO (п. 4.1, 4.7, 4.8, 3.1, 4.6) |
| Универсальные компетенции | | |
| P7 | Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития | Требования ФГОС (ОК5,9,10,11), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5), CDIO (п. 2.5) |
| P8 | Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности. | Требования ФГОС (ОК1,2,7,8,12), Критерий 5 АИОР (2.6), CDIO (п. 2.4) |
| P9 | Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности | Требования ФГОС (ОК-14) , Критерий 5 АИОР (п.2.2), CDIO (п. 3.2, 3.3) |
| P10 | Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации | Требования ФГОС (ОК-3,4) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3) CDIO (п. 4.7, 4.8, 3.1) |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов
 18.04.01 Химическая технология топлива и газа
 Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|--------------------------|
| магистерской диссертации |
|--------------------------|

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|-----------------------------------|
| 2ДМ82 | Маужигуновой Екатерине Николаевне |

Тема работы:

| | |
|---|---------------------------|
| Математическое моделирование процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив | |
| Утверждена приказом директора | от 28.02.2020 г. №59-73/с |

Срок сдачи студентом выполненной работы:

| | |
|--|---------------|
| | 30.05.2020 г. |
|--|---------------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|--|---|
| <p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <p>Объект исследования – процесс каталитической депарафинизации дизельного топлива. Исходные данные: технологическая схема процесса каталитической депарафинизации, технологические условия процесса и составы сырья.</p> |
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <p>1. Обзор литературы 1.1. Состояние и перспективы развития гидрогенизационных процессов переработки углеводородного сырья в России 1.2. Катализаторы процесса гидродепарафинизации дизельных топлив 1.3. Дезактивация катализаторов процесса гидродепарафинизации дизельных топлив 1.4. Влияние химического состава топлив на</p> |

| | |
|--|---|
| | <p>эксплуатационные показатели дизельных двигателей</p> <p>1.5. Постановка цели и задач исследования</p> <p>2. Объект исследования и методы исследования</p> <p>2.1. Процесс гидродепарафинизации дизельного топлива</p> <p>2.2. Методы исследования</p> <p>2.2.1 Метод математического моделирования для решения задачи повышения ресурсоэффективности процессов нефтепереработки</p> <p>2.2.2 Квантово-химические методы расчета термодинамических свойств молекул</p> <p>3. Расчеты и аналитика</p> <p>3.1. Разработка нестационарной математической модели процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив</p> <p>3.2. Совершенствование математической модели процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива</p> <p>3.2.1. Оценка реакционной способности н-парафинов в целевой реакции гидрокрекинга в процессе каталитической депарафинизации в зависимости от числа атомов в молекуле</p> <p>3.2.2. Оценка вероятности разрыва связей в различном положении в молекуле при гидрокрекинге н-парафинов в процессе каталитической депарафинизации</p> <p>4. Результаты разработки</p> |
| <p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p> | |
| <p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p> | |
| <p>Раздел</p> | <p>Консультант</p> |
| <p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> | <p>Маланина Вероника Анатольевна</p> |
| <p>Социальная ответственность</p> | <p>Скачкова Лариса Александровна</p> |
| <p>Раздел на английском языке</p> | <p>Матвеевко Ирина Алексеевна</p> |
| <p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p> | |
| <p>Гидрогенизационные процессы в производстве дизельных топлив</p> | |
| <p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p> | <p>09.03.2020 г.</p> |

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Белинская Наталия Сергеевна | к.т.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------------|---------|------|
| 2ДМ82 | Маужигунова Екатерина Николаевна | | |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|-----------------------------------|
| 2ДМ82 | Маужигуновой Екатерине Николаевне |

| Школа | ИШПР | Отделение школы (НОЦ) | ОХИ |
|---------------------|---------|---------------------------|--------------------------------|
| Уровень образования | Магистр | Направление/специальность | 18.04.01 Химическая технология |

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|--|---|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | Затраты на материальные ресурсы-2027 руб.; Затраты на ПО – 50980 руб. Размер оклада руководителя – 26300 руб. Размер оклада инженера – 16700руб. |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов | Срок выполнения проекта – 12 месяцев; Дополнительная заработная плата – 12% от основной; Районный коэффициент - 1,3 |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования | Отчисления на социальные нужды в 2020 году составляют 30,2 % |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|---|
| 1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ | Оценочная карта конкурентных технических решений |
| 2. Разработка устава научно-технического проекта | Определение целей и результатов проекта, заинтересованных сторон, участников |
| 3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок | Построение календарного плана проекта, графика выполнения работ; Расчет затрат на сырье, заработную плату, ПО; |
| 4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности | Расчет интегральных показателей эффективности, оценка сравнительной эффективности проекта |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма Исикавы
5. График проведения и бюджет НТИ
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

| | |
|--|---------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 09.03.2020 г. |
|--|---------------|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН | Маланина В.А. | к.э.н., доцент | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------------|---------|------|
| 2ДМ82 | Маужигунова Екатерина Николаевна | | |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|-----------------------------------|
| 2ДМ82 | Маужигуновой Екатерине Николаевне |

| Школа | ИШПР | Отделение (НОЦ) | ОХИ. |
|---------------------|--------------|---------------------------|---|
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | 18.04.01 Химическая технология топлива и газа |

Тема ВКР:

| | |
|--|--|
| «Математическое моделирование процесса гидродепарафинизации дизельных топлив» | |
| Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: | |
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | <p>Объект исследования – установка процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива.</p> <p>Методика исследования – математическое моделирование</p> <p>Рабочая зона – компьютерный класс, технологическая зона</p> <p>Область применения – нефтеперерабатывающие заводы, научные институты, проектные организации</p> |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| 1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | <p>- "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 20.04.2020)</p> <p>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации.</p> <p>- Технический перерыв, организация рабочего места и правила работы.</p> <p>(ТОИ Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере;</p> <p>ГОСТ Р ИСО 9241-4-2009. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDT). Часть 4. Требования к клавиатуре).</p> <p>Нормативные документы:</p> <p>- СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. Освещение;</p> <p>- СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха);</p> <p>- ГОСТ 12.1.006–84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности;</p> <p>- ГОСТ 12.1.038–82</p> <p style="text-align: right;">ССБТ.</p> |

| | |
|---|---|
| | <p>Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов;</p> <p>-ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ. Защитное заземление, зануление;</p> <p>-ГОСТ Р 56397-2015. Техническая экспертиза работоспособности радиоэлектронной аппаратуры, оборудования информационных технологий, электрических машин и приборов. Общие требования;</p> <p>-Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности;</p> <p>- ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.</p> |
| <p>2.Производственная безопасность:</p> <p>2.1.Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2.Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p> | <p>В производственной среде и при применении вычислительной техники вероятно воздействие следующих вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - освещение; - шум; - повышенный уровень электромагнитных излучений; - ухудшение микроклимата; - зрительное напряжение; - нервно-эмоциональные перегрузки |
| 3. Экологическая безопасность: | <ul style="list-style-type: none"> - воздействие объекта на литосферу (отходы); - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы токсичных веществ); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы вредных веществ); - проблема утилизации компьютеров и другой оргтехники; |
| 4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: | <p>Возникновение ЧС, требующих обеспечения электро- и пожаровзрывобезопасности на рабочем месте.</p> <p>Перечень возможных ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> - пожар; - информационная безопасность; <p>Для обеспечения безопасной эксплуатации установки предусмотрена рациональная технологическая схема с комплексной автоматизацией технологического процесса, позволяющая обеспечить его непрерывность и стабильную работу оборудования.</p> <p>Предусмотрено отключение электрооборудования со щита операторной.</p> |

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

09.03.2020 г.

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель ООД ШБИП | Скачкова Лариса Александровна | | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------------|---------|------|
| 2ДМ82 | Маужигунова Екатерина Николаевна | | |

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 125 с., 37 рис., 27 табл., 64 источника, 2 прил.

Ключевые слова: КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ДЕПАРАФИНИЗАЦИЯ, ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО, РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ, ПАРАФИНЫ, НАФТЕНЫ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Объект исследования – процесс каталитической депарафинизации дизельного топлива, с помощью которого можно преобразовать компоненты тяжелого нефтяного сырья в моторные топлива и смазочные материалы высокого качества в условиях ужесточения экологических требований и повышения спроса на рынке.

Целью работы является совершенствование математической модели процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива с учетом реакционной способности реагирующих веществ для повышения эффективности работы установки.

В ходе данной работы проводилось исследование реакционной способности н-парафинов в целевых реакциях процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив, а также оценивалась вероятность разрыва связи в данных молекулах в различном положении.

Данная работа имеет практическое значение для исследования и оптимизации промышленного процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив.

Область применения: нефтеперерабатывающие предприятия, где реализован процесс каталитической депарафинизации дизельных топлив, учебные заведения, в которых реализованы образовательные программы по направлению «Химическая технология».

Экономическая значимость работы заключается в увеличении эффективности процесса посредством подбора наиболее оптимальных параметров с целью минимизации расходов ресурсов предприятия при сохранении высокого выхода продукта с требуемыми показателями качества.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Депарафинизация: процесс, направленный на удаление нормальных парафиновых углеводородов из керосино-газойлевых и масляных фракций нефти.

Моделирование химико-технологической системы: это количественный анализ процессов нефтехимии и нефтепереработки с помощью создания математических моделей.

Водородсодержащий газ (ВСГ): газ с высоким содержанием водорода (от 50%), образуется в процессе каталитического риформинга.

Сокращения, обозначения

Данная работа содержит следующие обозначения и сокращения:

НПЗ – нефтеперерабатывающий завод

ДТ – дизельное топливо

ПТФ – предельная температура фильтруемости

ВСГ – водородсодержащий газ

КМС – компьютерная моделирующая система

DFT – Density Functional Theory

Нормативные ссылки

1. СТО 05766480 – 010 – 2011. Топливо дизельное. Технические условия.
2. ГОСТ 32511 – 2013 Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия.
3. ГОСТ Р 52368 - 2005 Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия.
4. ГОСТ Р 55475-2013 Топливо дизельное зимнее и арктическое депарафинированное. Технические условия.

Оглавление

| | |
|--|----|
| Введение | 16 |
| 1 Обзор литературы..... | 19 |
| 1.1 Состояние и перспективы развития гидрогенизационных процессов переработки углеводородного сырья в России..... | 19 |
| 1.2 Катализаторы процесса гидродепарафинизации дизельных топлив..... | 22 |
| 1.3 Дезактивация катализаторов процесса гидродепарафинизации дизельных топлив | 25 |
| 1.4 Влияние химического состава топлив на эксплуатационные показатели дизельных двигателей | 29 |
| 1.5 Постановка цели и задач исследования | 34 |
| 2. Объект и методы исследования | 36 |
| 2.1 Процесс гидродепарафинизации дизельного топлива | 36 |
| 2.2 Методы исследования | 38 |
| 2.2.1 Метод математического моделирования для решения задачи повышения ресурсоэффективности процессов нефтепереработки | 38 |
| 2.2.2 Квантово-химические методы расчета термохимических свойств молекул | 44 |
| 3. Расчеты и аналитика | 46 |
| 3.1. Разработка нестационарной математической модели процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив | 46 |
| 3.2 Совершенствование математической модели процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив | 47 |
| 3.2.1 Оценка реакционной способности н-парафинов в целевой реакции гидрокрекинга в процессе каталитической депарафинизации в зависимости от числа атомов в молекуле..... | 50 |
| 3.2.2 Оценка вероятности разрыва связей в различном положении в молекуле при гидрокрекинге н-парафинов в процессе каталитической депарафинизации | 50 |
| 4 Результаты разработки..... | 59 |

| | |
|---|----|
| 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 63 |
| 5.1 Предпроектный анализ..... | 63 |
| 5.1.2 Диаграммы Исикавы | 66 |
| 5.2.1 Оценка готовности проекта к коммерциализации..... | 66 |
| 5.2.2 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования | 68 |
| 5.3 Инициация проекта | 70 |
| 5.3.1 Цели и результат проекта..... | 70 |
| 5.3.2 Организационная структура проекта | 71 |
| 5.3.3 Ограничения и допущения проекта..... | 72 |
| 5.4 Планирование управления научно-техническим проектом | 72 |
| 5.4.1 Контрольные события проекта | 72 |
| 5.4.2 План проекта..... | 73 |
| 5.4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) | 75 |
| 5.4.4 Организационная структура проекта..... | 80 |
| 5.4.5 Потенциальные риски | 80 |
| 5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования | 82 |
| 5.5.1 Оценка сравнительной эффективности исследования | 82 |
| 6 Социальная ответственность | 86 |
| 6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 87 |
| 6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства | 90 |
| 6.2 Профессиональная социальная безопасность | 90 |
| 6.2.1 Анализ вредных факторов | 91 |
| 6.2.2 Анализ опасных факторов | 93 |
| 6.2.2.1 Электрический ток | 93 |
| 6.2.2.2 Пожаробезопасность | 94 |
| 6.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов. | 96 |

| | |
|---|-----|
| 6.2.3.1 Электробезопасность..... | 96 |
| 6.2.3.2 Пожаробезопасность | 96 |
| 6.2.3.3 Микроклимат | 97 |
| 6.3 Экологическая безопасность | 97 |
| 6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 99 |
| Заключение | 102 |
| Список публикаций студента: | 104 |
| Список используемых источников..... | 106 |
| Приложение А | 114 |
| Приложение Б..... | 115 |

Введение

В последнее время наблюдается тенденция истощения запасов легкоизвлекаемой нефти, в результате чего прирост нефтедобычи обеспечивается за счет тяжелой и трудно извлекаемой нефти [1]. Однако тяжелое нефтяное сырье имеет ряд недостатков, затрудняющих переработку, а именно: высокая плотность и вязкость, высокое содержание смол и асфальтенов, парафинов, серы и металлов (ванадия, никеля).

Для решения задач по переработке тяжелой нефти широкое применение находят гидрогенизационные процессы, одним из которых является каталитическая депарафинизация дизельного топлива. Процесс каталитической депарафинизации позволяет перерабатывать средние дистилляты в компоненты низкозастывающих сортов дизельного топлива [2, 3].

Также одной из важных задач нефтеперерабатывающих процессов является подбор оптимальных технологических условий для увеличения выхода целевых продуктов без потери качества и прогнозирование состава продуктов в условиях нестационарности протекания химических процессов. Для решения данной задачи широко применяют компьютерные моделирующие системы, разработанные на основании физико-химических свойств процесса.

Актуальными являются исследования процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива с использованием математической модели, разработанной с учетом термодинамических и кинетических закономерностей процесса, позволяющих оптимизировать промышленный процесс, а также позволяют прогнозировать выход продуктов на основании реакционной способности углеводородов.

Исследованиями процесса каталитической депарафинизации занимаются следующие коллективы: научный коллектив отделения химической инженерии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета в сотрудничестве с ООО «ПО «Киришинефтеоргсинтез», г. Кириши, ОАО «ВНИПИнефть», г. Москва, ОАО «ВНИИ НП», г. Москва, УГНТУ, г. Уфа и др.

Объект исследования – процесс гидродепарафинизации дизельного топлива, позволяющий преобразовать компоненты тяжелого нефтяного сырья в моторные топлива высокого качества в условиях ужесточения экологических требований и повышения спроса на рынке.

Предметом исследования являются физико-химические закономерности протекания процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив, а также закономерности влияния технологических параметров, состава сырья и активности катализатора на процесс.

Метод исследования – метод математического моделирования.

Целью работы является совершенствование математической модели процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива с учетом реакционной способности реагирующих веществ.

Личный вклад заключается в: исследовании реакционной способности и вероятности разрыва связи в молекулах n-парафинов в реакциях их гидрокрекинга в условиях процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив; совершенствовании математической модели путем включения математического описания выявленных закономерностей реакционной способности в модель; исследовании закономерностей процесса на усовершенствованной модели и его оптимизация.

Данная работа имеет практическое значение для оптимизации промышленного процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива, которая позволяет осуществить исследование без вмешательства в работу установок на промышленных предприятиях нефтеперерабатывающей отрасли. Кроме того, модель может применяться для обучения персонала промышленных предприятий и в образовательных программах учебных заведений для изучения физико-химических закономерностей процесса и закономерностей влияния технологических параметров, состава сырья и активности катализатора на состав и свойства получаемого дизельного топлива.

Результаты исследований, проведенных в рамках магистерской диссертации, были представлены на следующих симпозиумах и научно-

практических конференциях: XXIII Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2019 г.); XXIV Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2020 г.); XX Международная научно-практическая конференция «Химия и химическая технология в XXI веке» студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулева (г. Томск, 2019 г.).

1 Обзор литературы

1.1 Состояние и перспективы развития гидрогенизационных процессов переработки углеводородного сырья в России

В настоящее время гидрогенизационные процессы находят широкое применение в нефтеперерабатывающей промышленности ввиду ряда причин:

- ужесточение требований к качеству товарных нефтепродуктов [4];
- увеличение объема сернистых и высокосернистых нефтей, поступающих на нефтепереработку.

Большинство нефтеперерабатывающих предприятий России в зимнее время переходят на производство зимнего дизельного топлива, так как в это время года суровые климатические условия создают существенные проблемы для транспорта стран северного полушария ввиду потери текучести дизельного топлива при низких температурах.

Большая часть территории России относится к зонам с умеренным холодным и арктическим климатом [5]. В связи с этим актуально обеспечение северных и арктических широт зимним и арктическим дизельным топливом, соответствующим всем нормативным документам [6].

На сегодняшний день в стране доля производства зимнего и арктического дизельного топлива составляет около 18 % от общего объема выпускаемого дизельного топлива, несмотря на вдвое большую потребность в низкозастывающем дизельном топливе.

Дизельные топлива зимних и арктической марок можно получить следующими способами:

- применяя депрессорные присадки и диспергаторы парафинов, которые понижают температуру застывания, а также незначительно влияют на температуру помутнения топлива;
- снижая температуры конца кипения, за счет переработки «летнего» дизельного топлива или выделяя из нефтяной фракции 140 – 300 °С. Однако применяя данный метод наблюдается прекращение выпуска авиационного

керосина и летнего дизельного топлива, а также увеличение пожароопасности топлива;

- частичное удаление высокоплавких n-парафинов с помощью электродепарафинизации. Данный метод позволяет улучшать низкотемпературные свойства всего лишь на 10 – 15 °С [7];
- использование карбамидной депарафинизации, основанной на способности парафинов образовывать твердые комплексы с карбамидом, которые нерастворимы в нефтяных продуктах [9];
- применение сорбентов, адсорбирующих из нефтяного сырья избирательно застывающие или низкозастывающие компоненты. Наиболее распространенные адсорбенты: активированный уголь и молекулярные сита из цеолита типа А [8, 9];
- экстрагирование для селективного разделения низкозастывающих и высокозастывающих компонентов дизельного топлива. Этот метод не находит широкого применения ввиду высокой энергоемкости и сложности организации технологии;
- каталитическими процессами гидрокрекинга, депарафинизацией и изомеризацией, направленными на изменение углеводородного состава топлива для улучшения низкотемпературных свойств (предельной температуры фильтруемости, температуры застывания и помутнения топлива);
- получением биодизеля с высоким цетановым числом из растительных масел. Данный метод не находит широкого применения вследствие увеличения затрат на производство топлива.

В данный момент российские НПЗ несмотря на огромное разнообразие предлагаемых методов получают зимние сорта дизельного топлива каталитической депарафинизацией либо применением депрессорных присадок и снижая температуры конца кипения [10].

В России большую часть данного вида топлива производят, облегчая состав дистиллятов установок атмосферно-вакуумной трубчатки либо смешивая летние дизельные топлива с керосиновой фракцией. Данный метод

сокращает ресурсы ценного реактивного топлива и приводит к ухудшению качества производимого дизельного топлива, а именно, снижает температуры вспышки, цетановое число и вязкость.

Применение депрессорно-диспергирующих присадок не всегда позволяет производить зимние и арктические марки дизельного топлива, так как добавление присадок приводит к снижению предельной температуры фильтруемости, но не приводит к снижению температуры помутнения.

Использование технологий, основанных на снижении концентрации парафинов нормального и слабо разветвленного строения в топливе, является самым действенным методом для производства арктических и зимних марок дизельного топлива. Каталитическая депарафинизация является одним из таких процессов.

На сегодняшний день в России зимнее дизельное топливо методом каталитической депарафинизации производят на установках 6 заводов в городах: Омск, Ачинск, Сургут, Ухта, Кириши и Комсомольск-на-Амуре [5].

Рассмотрим данные установки и особенности проведения процесса на них:

1) На НПЗ города Ухта процесс проводят на специализированной установке ГДС-850 при давлении 5 МПа, получают дизельное топливо с температурой застывания минус 40 – 45 °С.

2) На Сургутском заводе стабилизации конденсата в ходе процесса каталитической депарафинизации получают дизельное топливо с низким содержанием серы, не превышающем 10 мг/кг.

3) Омский НПЗ объединил установки Л-24-9хРТ для снижения содержания серы в ДФ до 10 ppm и Л-24-6 для улучшения низкотемпературных свойств, производимого дизельного топлива.

4) Комбинированная установка ЛК-6у, работающая при давлении 5 – 6 МПа, введена в эксплуатацию в АО «Ачинский НПЗ ВНК».

5) На Киришском НПЗ запущена установка производства ЗДТ Л-24-10/2000. В качестве сырья используют смесь атмосферного газойля,

прямогонных дизельных фракций и бензина висбрекинга. Давление проведения процесса – 7 – 9 МПа.

б) На Комсомольском НПЗ запущена установка глубокого облагораживания дизельного топлива [5].

Таким образом, выявлено, что в настоящее время гидрогенизационные процессы играют ведущую роль для переработки средних и тяжелых дистиллятов нефти. При этом процесс каталитической депарафинизации является наиболее распространенным способом улучшения низкотемпературных свойств дизельных топлив. Широкое применение процесса каталитической депарафинизации на российских НПЗ обуславливает актуальность его исследования.

1.2 Катализаторы процесса гидродепарафинизации дизельных топлив

Катализаторы процесса гидродепарафинизации представляют собой многокомпонентную систему, состоящую из кислотного, связующего и гидрирующего компонентов [11].

Кислотный компонент катализатора выполняет изомеризующую и расщепляющую функции. В качестве кислотного компонента применяют цеолиты и цеолитоподобные молекулярные сита – силикоалюмофосфаты, обладающие меньшей чувствительностью к воздействию отравляющих соединений в сырье и высокой избирательностью по отношению к нормальным парафинам [12].

Гидрирующие компоненты способствуют протеканию реакций изомеризации. В качестве гидрирующего компонента применяют металлы переходных групп, такие как никель, молибден и вольфрам, а также платина.

Связующие компоненты способствуют увеличению механической прочности и снижению скорости дезактивации катализаторов за счет увеличения размеров микропор. В качестве связующего компонента в основном применяют оксиды алюминия и кремния, а также аморфный алюмосиликат.

Для производства катализаторов термогидрокаталитических процессов оптимальным является применение в качестве связующего компонента оксида алюминия, который не взаимодействует с другими компонентами катализатора [12].

В процессе гидродепарафинизации парафины нормального строения превращаются в изо-парафины. При этом основными являются реакции гидрокрекинга и гидроизомеризации. Относительный вклад этих реакций в общий процесс депарафинизации зависит от структуры катализатора, температуры и состава перерабатываемого сырья. Например, гидрокрекинг является более важной реакцией при получении дизельного топлива и бензина из вакуумного газойля и деасфальтизированного масла. Эти параметры необходимо учитывать при производстве катализаторов.

Гидроизомеризация является одной из наиболее важных реакций превращения *n*-парафинов и *n*-олефинов в соответствующие изомеры. При этом реакции крекинга протекают параллельно с изомеризацией либо последовательно. Катализаторы, используемые для реакций крекинга и изомеризации, должны обладать достаточной кислотной активностью. В реакциях гидрокрекинга необходимо регулировать кислотность, для предотвращения образования большого количества газообразных побочных продуктов и кокса. В связи с этим, применяемые бифункциональные катализаторы должны обладать хорошей активностью при одновременном протекании реакций изомеризации и гидрокрекинга. В данном случае необходимо проводить оптимизацию кислотных участков. Например, катализатор, имеющий средне- и слабокислотные участки может проявлять высокую активность в реакции изомеризации, но его активность в реакции гидрокрекинга будет довольно низкой [13].

При этом наряду с реакциями изомеризации и гидрокрекинга в некоторой степени протекают другие реакции гидропереработки. В данном случае необходимо принимать во внимание состав сырья и свойства получаемых продуктов.

В настоящий момент разработан и испытан широкий спектр катализаторов депарафинизации *n*-парафинов и *n*-олефинов. В этих катализаторах преобладали различные комбинации активных металлов (например, Pt и Pd) с цеолитами, хотя на ранних этапах исследований внимание также уделялось аморфному кремнезему-глинозему и активным глинам. Интерес представляют также молекулярные сита кремнеземно-глиноземных фосфатов и катализаторы на основе сульфатированного циркония. Кроме того, в ряде исследований использовались активные металлы, нанесенные на различные носители (SiO_2 , Al_2O_3 и различные углеродные носители).

Среди цеолитов высокая селективность была достигнута при использовании цеолита со средним размером пор ZSM-5. Бендорайтис и Честер [13] заметили, что цеолит ZSM-5 и Pt/морденит проявляют молекулярно-ситовые свойства. Последний имел более крупные поры, чем цеолит ZSM-5. Точки застывания смазочного базового масла были одинаковыми для обоих катализаторов, тогда как индекс вязкости для катализатора ZSM-5 был выше, чем для Pt-морденита [14]. Модификация цеолита ZSM-5 была испытана Ченом и Гарвудом [15] при депарафинизации среднедистиллятного топлива. Активность этого катализатора находилась в пределах активности катализатора Ni/кизельгур. Учитывая сходство процесса, наблюдения, сделанные при депарафинизации среднедистиллятного сырья, также могут применяться для депарафинизации вакуумного газойля.

Серия нецеолитных катализаторов была запатентована компанией Gillespie et al [16, 17]. Разработка катализатора была основана на том, что катализаторы, содержащие элементы лантаноидного ряда и компоненты платиновой группы, обеспечивают превосходную производительность и стабильность при переходе от *n*-парафинов к изо-парафинам. В этом случае катализатор состоит из вольфраматизированного носителя оксида циркония, лантаноидного элемента и / или иттрия в качестве первого компонента, а второй компонент представляет собой металл из платиновой группы. Предпочтительно, использовать в качестве первого компонента иттербий,

гольмий, иттрий, церий, европий или их смеси, а в качестве второго компонента – платину. Катализаторы данного типа содержат неорганическое оксидное связующее, такое как глинозем. Другой тип катализатора изомеризации, запатентованный данной компанией [18], состоит из сульфатированного диоксида циркония, а также компонента третьей группы главной подгруппы и платины. Этот катализатор обладает высок активностью в реакциях изомеризации н-парафинов в изо-парафины.

В настоящее время исследования в области разработки новых катализаторов продолжаются.

1.3 Дезактивация катализаторов процесса гидродепарафинизации дизельных топлив

В результате длительной эксплуатации промышленных катализаторов в условиях производства происходит дезактивация катализатора, приводящая к множеству негативных последствий. Дезактивация катализатора сопровождается изменением количества активных кислотных и металлических центров [19, 20], что влияет на скорость протекания реакций крекинга и гидрирования. Это приводит к снижению степени конверсии н-парафинов в реакциях гидрирования и дегидрирования.

Дезактивация катализатора может происходить в результате спекания (термическая дезактивация), отравления или блокировки активных центров.

В ходе эксплуатации катализаторов при повышенных температурах происходит снижение каталитической активности за счет уменьшения удельной поверхности и пористости катализатора. Процесс спекания происходит в результате увеличения площади соприкосновения мелких частиц, перекрывания перешейков, образование закрытых пор и их зарастание. При использовании нанесенных металлических катализаторов происходит образование более крупных кристаллов из мелких. Возможно также одновременное спекание металла и носителя. Повышение устойчивости катализатора к спеканию осуществляется подбором соответствующих

носителей и стабилизирующих добавок, которые снижают способность нанесенного металла к миграции.

Отравление катализаторов вызывается примесями, присутствующими в исходных реагентах или образующимися в ходе самой реакции. В обоих случаях каталитический яд адсорбируется на активных центрах и снижает активность катализаторов. Различают обратимое и необратимое отравление. В первом случае активность может быть восстановлена при исключении воздействия источника отравления. Во втором – активность не может быть восстановлена и катализатор должен быть регенерирован специальными методами или заменен.

Сера, находящаяся в составе нефтяного сырья и природного газа в качестве примеси, является классическим каталитическим ядом. В восстановительных условиях она превращается в сероводород, который прочно адсорбируется на поверхности металлов и может образовывать объемные сульфиды, например, Ni_3S_2 из металлического никеля.

Каталитические яды могут изменить и селективность катализатора. Одним из механизмов такого действия является блокировка активных центров. Альтернативный механизм состоит в том, что отравление катализатора понижает влияние диффузии на селективность катализатора.

Дезактивация катализаторов может быть следствием отложения на поверхности достаточно больших количеств вещества (часто до 10 – 20 % от массы катализатора). Блокировка может быть вызвана как самими реагентами, так и отложениями примесей в сырье. Примером блокировки первого типа является отложение кокса (углерода), образующегося из органических веществ. Пример блокировки второго типа – отложение металлов при разложении металлоорганических соединений, содержащихся в нефтях [21].

Считается, что срок службы катализаторов, применяемых для депарафинизации, а также катализаторов для гидрирования и дегидрирования, которые могут быть неотъемлемой частью общего процесса депарафинизации, должен приближаться, по меньшей мере, к двум годам при условии, что во

время эксплуатаций не произойдет никаких инцидентов. В большинстве случаев сырье для процесса депарафинизации не содержит примесей, поскольку оно предварительно подвергается гидропереработке. Поэтому основными причинами дезактивации катализатора должны быть осаждение кокса и отравление его N-соединениями. Однако содержание N-оснований не должно превышать нескольких миллионных долей (ppm) азота в том случае, если катализаторы депарафинизации содержат благородные металлы. Такие катализаторы также могут быть отравлены H_2S , поэтому перед депарафинизацией может потребоваться глубокое гидрообессеривание и гидродеазотирование сырья [13].

Процесс дезактивации рассмотрим на примере Ni-содержащего катализатора. Дезактивация металлических участков Ni-содержащего катализатора в процессе коксования происходит по нескольким механизмам: хемосорбция монослоя или физическая адсорбция полислоев углеводородов, блокирующих доступ реагентов к каталитическим участкам на поверхности металла; блокирование металлических частиц Ni и их полная дезактивация; осаждение в порах катализатора, препятствующее доступу реагентов к активным участкам катализатора; образование кристаллов углерода. Кроме того, растущие кристаллы кокса на поверхности катализатора разрушают катализатор, что приводит к повышению перепада давления в реакторе [19].

Дезактивация Ni-содержащих катализаторов также возникает вследствие отравления серой. Несмотря на то, что в процессе гидроочистки удаляется большая часть серы (98 – 99 %), следовые количества серы накапливаются с течением времени, что приводит к дезактивации катализатора. Кроме того, при наличии серы в составе сырья скорость осаждения кокса на Ni-содержащем катализаторе значительно выше. Это связано со следующим: кокс распределяется почти равномерно по поверхности катализатора; это говорит о том, что адсорбированный на поверхности Ni углеводород, отравленный серой, мигрирует к цеолитному носителю, на котором он расщепляется на кислотных участках. Когда поверхность Ni насыщается серой, он становится менее

эффективным в конверсии углеводородов. Углеводороды, адсорбированные на центрах Ni-S, мигрируют на цеолитный носитель, где они подвергаются кислотному расщеплению с образованием продуктов крекинга. Продукты крекинга постепенно накапливаются на поверхности носителя и может превращаться в ароматические или полимерные соединения, а в конечном итоге образовывать значительное количество углерода на носителе. Спекание частиц Ni также способствует дезактивации катализатора. Таким образом, более быстрая дезактивация металлических участков по сравнению с кислотными участками обусловлена осаждением кокса, отравлением серой и спеканием никелевых частиц. Дезактивация кислотных участков происходит за счет осаждения кокса [19].

Сотрудниками НИ ТПУ проведены исследования влияния снижения активности катализатора на выход продукта и его предельную температуру фильтруемости. При снижении активности катализатора на 0,6 относительных единиц предельная температура фильтруемости продукта увеличивается на 4 °C. Это связано с тем, что предельная температура фильтруемости зависит от содержания н-парафинов, чем ниже содержание н-парафинов, тем ниже предельная температура фильтруемости. При примерно одинаковых условиях эксплуатации конверсия н-парафинов в целевой реакции гидрокрекинга уменьшается, и содержание н-парафинов в продукте становится выше, чем содержание н-парафинов при более высокой активности катализатора.

При снижении активности катализатора на 0,6 относительных единиц выход продукта увеличивается на 2,6 %. Изменение соотношения между кислотными и металлическими активными участками также вносит свой вклад в соотношение выхода дизельного топлива и бензина. С увеличением степени дезактивации катализатора выход бензиновой фракции увеличивается за счет реакций крекинга, тогда как выход дизельных фракций увеличивается за счет увеличения выхода непревращенной более тяжелой части сырьевой фракции [22].

Таким образом, выявлено, что активность катализатора оказывает значительное влияние на предельную температуру фильтруемости и выход продукта. Поэтому в условиях постоянно меняющегося состава исходного сырья и активности катализатора в процессе каталитической депарафинизации необходимо поддерживать такие технологические режимы, которые обеспечивают получение продукта требуемого качества с высоким выходом и минимальными затратами. Определение оптимальных режимов может быть произведено с использованием математической модели процесса.

1.4 Влияние химического состава топлив на эксплуатационные показатели дизельных двигателей

Дизельное топливо используется для работы быстроходной дизельной и газотурбинной наземной и судовой техники. Для обеспечения безопасной работы быстроходных двигателей качество дизельного топлива должно соответствовать определенным требованиям. Качество дизельного топлива определяется эксплуатационными показателями дизельного топлива. К ним относятся температура самовоспламенения, цетановое число, фракционный состав, а также показатели вязкости, плотности и поверхностного натяжения топлива. Немаловажное значение имеют также низкотемпературные свойства дизельных топлив. Рассмотрим более подробно влияние химического состава топлива на представленные эксплуатационные характеристики [23].

Самовоспламеняемость топлива характеризует его способность к самовоспламенению в двигателе. Температура самовоспламенения жидких углеводородов и их смесей зависит от давления, соотношения «воздух – топливо», условий испарения, скорости подвода тепла и независимой величиной не является. Различные методы определения температуры самовоспламенения дают возможность сравнить это свойство для разных углеводородов, но не переносимы на поведение топлив в дизельном двигателе. Наименьшей температурой самовоспламенения характеризуются *n*-парафины, с увеличением числа атомов углерода в молекуле температура

самовоспламенения снижается. Разветвления в молекуле парафина значительно увеличивают температуру самовоспламенения. Наиболее высокую температуру самовоспламенения имеет бензол, с увеличением числа атомов углерода в цепи алкильного заместителя температура самовоспламенения снижается. Температура самовоспламенения циклопарафинов выше, чем у n-парафинов и значительно ниже, чем у ароматических углеводородов.

Склонность к самовоспламенению в условиях дизельного двигателя определяется по эмпирической шкале цетановых чисел. Цетановое число является характеристикой воспламеняемости топлива. Воспламеняемость определяет период задержки воспламенения топливно-воздушной смеси. Чем выше цетановое число, тем меньше задержка и тем более спокойно и плавно горит топливная смесь. Численно цетановое число равно объемной доле цетана ($C_{16}H_{34}$, гексадекана), цетановое число которого равно 100, в смеси с α -метилнафталином (ЦЧ = 0).

Цетановое число снижается с разветвлением цепей парафинов в тем большей степени, чем более разветвлена цепь. С увеличением числа атомов углерода в неразветвленной цепи цетановые числа у всех классов углеводородов возрастают.

Нетрудно видеть, что изменения химического строения углеводородов, повышающие их октановые числа, снижают цетановые числа. Связь этих параметров линейная. Для характеристики самовоспламеняемости дизельных топлив кроме цетанового числа применяют дизельный индекс, определение которого не требует специальной установки.

Величина цетанового числа влияет на ряд эксплуатационных показателей дизельных двигателей. Количественное влияние различно для двигателей различных конструкций и разного режима работы. Увеличение цетанового числа во всех случаях снижает время запуска холодного двигателя, повышение цетанового числа с 45 до 55 может сокращать время запуска в 2 – 5 раз, повышение цетанового числа с 50 до 58 снижает время запуска на

40 %. Эти цифры имеют относительный характер, так как время запуска зависит от температуры холодного двигателя и может сильно варьировать.

Повышение цетанового числа снижает скорость начальной стадии горения, что снижает скорость нарастания давления, снижает долю топлива, сгорающего в такте сжатия, что повышает коэффициент полезного действия двигателя, снижает максимальное давление цикла и нагрузку на подшипники.

Снижение удельного расхода топлива при повышении его цетанового числа заметно и при высоком уровне цетановых чисел; так повышение цетанового числа с 50 до 58 снижает удельный расход топлива на 1 – 2 %.

Фракционный состав является важным показателем топлива. Фракционный состав, наряду с цетановым числом, оказывает значительное влияние на процесс сгорания топлива. Качество его распыления и полнота сгорания напрямую зависят от фракционного состава. При высоком содержании легких углеводородов в составе дизельного топлива требуется значительно меньшее количество кислорода на его сжигание. Процесс смесеобразования для такого топлива протекает более полно, вместе с тем наблюдается повышение жесткости работы двигателя.

Самостоятельное значение имеют температуры выкипания 90 % или 95 % фракции, а также конца кипения. В конечных фракциях дизельного топлива содержится большое количество полициклических ароматических углеводородов, способствующих нагаро- и сажеобразованию. Холодный запуск двигателя облегчается в результате снижения образования тяжелых фракций. Фракционный состав дизельных топлив ограничивается требованиями к температуре вспышки, вязкости, температурам застывания, помутнения, фильтруемости и плотности [24].

Одним из важнейших показателей качества дизельного топлива является его вязкость, оказывающая влияние на качество смесеобразования и распыливания. С увеличением плотности топлива повышается его вязкость, в результате чего происходит образование более крупных капель топлива при впрыске форсункой и увеличивается дальность струи. Однако повышение

вязкости приводит к снижению прокачиваемости дизельного топлива при низких температурах.

Повышение температуры приводит к снижению вязкости. По этой причине наблюдается повышение утечки дизельного топлива через неплотно прилегающие части в прецизионных парах насоса и форсунки и наблюдается уменьшение подачи топлива.

При повышении температуры вязкость уменьшается. Таким образом, вязкость топлива должна находиться в определенных пределах.

Плотность и поверхностное натяжение дизельного топлива, наряду с вязкостью оказывают влияние на качество распыления. В результате повышения плотности и поверхностного натяжения топлива наблюдается увеличение размера капель впрыскиваемого топлива, что способствует увеличению времени сгорания топлива [24].

Повышение плотности и поверхностного натяжения топлива приводит к увеличению времени сгорания топлива, за счет увеличения размера его капель.

Низкотемпературные свойства являются одним из главных критериев эксплуатационной эффективности дизельных топлив, которые используют в условиях холодных климатических зон. Низкотемпературные свойства характеризуют способность функционирования системы питания двигателей при отрицательных температурах окружающей среды, а также в условиях хранения топлива.

Низкотемпературные свойства характеризуются температурой застывания, температурой помутнения и предельной температурой фильтруемости (ПТФ).

Температура помутнения – температура, при которой из топлива начинают выпадать первые кристаллы парафина, которые при дальнейшем понижении температуры растут, соединяются вместе и оседают на фильтрах, через которые пропускают топливо для очистки его от механических примесей. Применение дизельных топлив, характеризующиеся высокими значениями температуры помутнения, может привести к забивке фильтров кристаллами

парафина. Температура помутнения – это температура, при которой визуально наблюдается фазовая неоднородность топлива [9].

Микrokристаллы высокоплавких углеводородов образуют в фильтре тонкой очистки непроницаемую для топлива парафиновую пленку, в результате чего подача топлива прекращается. Чаще всего это проявляется при пуске и прогреве дизеля, так как в это время в подкапотном пространстве еще сохраняется низкая температура.

Бесперебойная подача обеспечивается при температуре помутнения топлива на 5 – 10 °C ниже температуры окружающего воздуха, при которой эксплуатируется автомобиль.

Температура застывания – это температура, при которой дизельное топливо теряет свою подвижность при наклоне под углом 45° в течение 1 минуты. Восстановить текучесть на некоторое время можно перемешиванием застывшего топлива, однако затем оно обычно вновь застывает.

В зависимости от химического состава разница между температурами застывания и помутнения колеблется в интервале от 5 °C до 15 °C. Например, для летнего дизельного топлива при применении его в умеренной климатической зоне температура помутнения равна минус 5 °C, а температура застывания равна минус 10 °C. Аналогично для зимнего топлива в той же климатической зоне температура помутнения составляет минус 25 °C, а температура застывания минус 35 °C.

Предельная температура фильтруемости является одним из основных низкотемпературных свойств. Данную температуру определяют путем фильтрации заданного объема топлива при указанной температуре за определенный промежуток времени. Предельная температура фильтруемости для летнего дизельного топлива, согласно ГОСТ, составляет минус 5 °C, для зимнего – минус 25 °C.

Улучшить низкотемпературные свойства дизельных топлив возможно путем добавления в них депрессорных присадок либо удалением высокомолекулярных парафинов нормального строения из их состава [25].

Содержание парафинов нормального строения с числом атомов углерода от 15 до 29, которые имеют высокие температуры плавления, оказывает значительное влияние на низкотемпературные свойства. Например, при добавлении 1 % мас. н-тетракозана приводит к повышению температуры помутнения с минус 72 °С до 0 °С. Поэтому при производстве низкозастывающих топлив желательными компонентами являются изопарафиновые углеводороды, так как характеризуются более низкими значениями предельной температуры фильтруемости и температуры помутнения.

1.5 Постановка цели и задач исследования

В результате анализа литературных источников выявлено, что производство дизельного топлива с улучшенными низкотемпературными свойствами является востребованным, а исследования в области разработки технологий и катализаторов для процессов переработки средних дистиллятов в низкозастывающие дизельные топлива, а также разработки способов снижения скорости дезактивации катализаторов и продления срока их службы являются актуальными.

Показано, каким образом химический состав топлив, формирующийся в процессе переработки, оказывает влияние на эксплуатационные свойства дизельных топлив.

Целью работы является совершенствование математической модели процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива с учетом реакционной способности реагирующих веществ.

Задачи работы включают:

1. Исследование реакционной способности и вероятности разрыва связи в молекулах н-парафинов в реакциях их гидрокрекинга в условиях процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив.

2. Включение выявленных закономерностей реакционной способности в модель.

3. Исследование закономерностей процесса на усовершенствованной модели.

4. Оптимизация процесса в условиях изменяющегося состава и расхода сырья, активности катализатора.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Предпроектный анализ

Нефтяная промышленность является важнейшей отраслью, которая формирует экономику страны. Углеводороды нефти широко используются в качестве источника химического сырья. Глубокая переработка нефти способствует получению широкого спектра нефтепродуктов, таких как бензин, дизельное и реактивное топлива, сжиженный углеводородный газ.

Целевой рынок – нефтехимические предприятия, на которых в будущем будет использоваться данная разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга) [45].

Разрабатываемый проект направлен на разработку и составление математической модели в виде программного продукта для исследования и оптимизации процесса гидрокрекинга вакуумного газойля.

В настоящее время перспективность научного исследования определяется коммерческой ценностью разработки, что является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью данного раздела в магистерской диссертации является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации. Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;

- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективностей исследования [46].

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

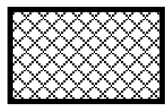
Для анализа потенциальных потребителей результатов исследования необходимо провести анализ целевого рынка и его сегментирование. В данной работе результатом исследования является компьютерная моделирующая система, которая может быть использована непосредственно, как программный продукт на предприятии (производстве); обучающая программа в образовательных учреждениях; а также может быть инструментом для выполнения индивидуальных расчетов для предприятий-заказчиков. На рисунке 5.1 представлена карта сегментирования целевого рынка по продажам компьютерных моделирующих систем (КМС).

| Потребитель | Вид услуги | | |
|----------------------------|---|--|---|
| | Продажа программного продукта | Оказание услуг по исследованию и оптимизации | Продажа тренировочной версии |
| Крупные НПЗ |  | | |
| Средние НПЗ |  |  | |
| Мелкие НПЗ | |  | |
| Образовательные учреждения |   | |  |
| Проектные организации |   | | |

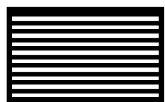
Рисунок 5.1 – Карта сегментирования



- Aspen Technology, Inc., г. Кэмбридж



- Schneider Electric, г. Рюэй-Мальмезон



- Schlumberger, г. Москва

Для составления данной карты было взято три фирмы, которые находятся в числе крупнейших по разработке симуляторов подготовительных и перерабатывающих процессов в нефтехимии. Как показано на рисунке, данные компании в основном занимаются разработкой и продажей своего программного обеспечения (ПО) для крупных предприятий, образовательных учреждений и проектных институтов. При этом следует учесть, что доля моделирующих утилит для процессов промышленной подготовки в этих программах выше, чем для процессов переработки, так как они в принципе проще. Ни одна из КМС данных фирм не включает в себя процесс каталитической депарафинизации. Исследованием процессов и их мониторингом занимаются технологи на производстве с применением данного ПО, сами фирмы непосредственно оптимизацией занимаются редко. Также следует отметить, что данные компании не распространяют электронные тренажеры для обучения как инженерно-технического персонала, так и обучающихся по соответствующим программам обучения.

Исходя из всего этого, можно сделать вывод, что наиболее перспективными на рынке КМС являются направления создания доступных по цене моделирующих систем, имеющих функции мониторинга и оптимизации действующих производств, в частности, процесса каталитической депарафинизации, а также возможность проведения прогнозирующих расчетов для действующих и строящихся производств. Такие системы могут быть применены как в качестве полноценных симуляторов, так и в качестве упрощенных тренажеров в образовательных целях.

5.1.2 Диаграммы Исикавы

Основной проблемой при разработке математической модели действующего промышленного процесса является неадекватность полученной модели экспериментальным данным с установки. Для данных целей применяют диаграммы причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram). В соответствии с приемом 6М, на диаграмме указывают причинно-следственные связи по категориям персонала, метода, материалов, среды, материалам, измерениям.

Данная диаграмма приведена в приложение А.

5.2.1 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Наиболее сложным этапом в создании инновации является введение результатов научно-технических разработок на рынок, или так называемая коммерциализация. Чтобы понять, насколько исследуемый проект готов к коммерциализации, необходимо оценить степень проработанности проекта. Для этого необходимо заполнить форму в таблице 5.1, приведенную ниже.

Таблица 5.1 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

| № п/п | Наименование | Степень проработанности научного проекта | Уровень имеющихся знаний у разработчика |
|-------|--|--|---|
| | Определен имеющийся научно-технический задел | 5 | 4 |
| | Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела | 4 | 3 |
| | Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке | 4 | 5 |
| | Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок | 3 | 4 |

Продолжение таблицы 5.1

| | | | |
|--|---|-----------|-----------|
| | Определены авторы и осуществлена охрана их прав | 4 | 5 |
| | Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности | 4 | 4 |
| | Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта | 3 | 3 |
| | Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки | 3 | 2 |
| | Определены пути продвижения научной разработки на рынок | 4 | 3 |
| | Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки | 4 | 4 |
| | Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок | 3 | 3 |
| | Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот | 2 | 2 |
| | Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки | 4 | 3 |
| | Имеется команда для коммерциализации научной разработки | 4 | 4 |
| | Проработан механизм реализации научного проекта | 4 | 4 |
| | ИТОГО БАЛЛОВ | 55 | 53 |

Оценке степени проработанности научного проекта количество баллов соответствует следующим критериям: 1 балл – не проработанность проекта, 2 балла – слабая проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Оценке уровня имеющихся знаний у разработчика количество баллов соответствует следующим критериям: 1 – не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности проекта к коммерциализации определяется, исходя из суммы баллов по каждому направлению. В соответствии с [45], количество баллов в 53 соответствует перспективности проекта, выше среднего. Для повышения уровня перспективности проекта и его коммерциализации необходимы следующие меры:

- привлечение большего объема инвестиций в виде государственного финансирования;
- изучение целевого рынка сбыта продукта и имеющихся конкурентов;
- привлечение в команду исследователей грамотного специалиста по стратегии выхода продукта на рынок и оценке рисков;
- оценка финансовой составляющей проекта и стоимости интеллектуальной собственности.

5.2.2 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Владение интеллектуальной собственностью непосредственно влияет на развитие внутренней экономики страны, так как оно обеспечивает доступ к новшествам крупным предприятиям, тем самым стимулируя применение в производственной сфере усовершенствованных технических решений. Эффективной конкуренции на рынке новейших мировых технологий можно достичь за счет защиты интеллектуальной собственности патентами.

Для успешной коммерциализации разработанной КМС для ЭВМ можно применить следующие методы:

1. Инжиниринг или заключение коммерческого договора с производством, на котором имеется действующая установка каталитической депарафинизации дизельного топлива. По данному договору заказчик (в лице производства) предоставляет имеющиеся данные по мониторингу установки и работе катализатора, а консультант (в лице научной группы исследователей) предоставляет услуги моделирования, оптимизации и прогнозирования

установки. Таким образом, продукт доводится до рыночной формы совместно двумя сторонами и внедряется в производство, а в дальнейшем и на рынок. Так как университет, где проводятся исследования, тесно сотрудничает с предприятием, где налажено производство с помощью данной установки, такой подход наиболее вероятен.

2. Торговля патентными лицензиями. Такая форма коммерциализации является достаточно широко распространенной. Объектом купли-продажи является программа для ЭВМ. По такому договору право на торговлю лицензией передается лицензиату на определенный срок (5-7 лет), при этом лицензиат обеспечивает гарантии в освоении лицензионного продукта, малые технические и коммерческие риски, постоянный доход (роялти). А лицензиар получает прибыль без капитальных вложений, сокращает сроки окупаемости затрат на исследования, упрощает процедуру выхода на рынок. Данный продукт удовлетворяет всем необходимым критериям, предъявляемым к продаже по лицензиям: уникальность, небольшой объем инвестиций, наличие налаженного производства, предложение программного обеспечения и др [45].

На данной стадии уже имеется предприятие, на котором реализован процесс каталитической депарафинизации дизельного топлива. Таким предприятием является один из российских НПЗ. Данное предприятие заинтересовано в разработке новых технологий, а также в усовершенствовании технологического процесса. Проводилась работа по повышению эффективности процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива.

Такой выбор связан с тем, что исследования проводятся на основе экспериментальных данных, взятых непосредственно с цеха предприятия. Поэтому разработка является актуальной лишь для одного определенного предприятия, что связано с различными условиями проведения процесса. Владелец предприятия и работники, выполняющие исследования, заранее договариваются о предоставлении последними услуг по повышению эффективности процесса, а производитель в свою очередь предоставляет

данные для НТИ. Такой метод коммерциализации является единственным подходящим в данном случае.

5.3 Инициация проекта

Прежде чем приступить к выполнению проекта, необходимо определить его изначальные цели и финансирование, а также результаты, на которые он будет направлен. Определяются заинтересованные стороны проекта, а также его участники, работы и сроки выполнения работ [47]. Вся перечисленная информация закрепляется в Уставе проекта. Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать [45].

5.3.1 Цели и результат проекта

Информация по заинтересованным сторонам проекта, а также целям и результатам проекта представлена в таблицах 5.2 и 5.3.

Таблица 5.2 – Заинтересованные стороны проекта

| Заинтересованные стороны проекта | Ожидания заинтересованных сторон |
|--|--|
| Национальный исследовательский Томский политехнический университет | а) Разработка инновационного проекта, который будет являться показателем научных исследований университета; б) Публикации в журналах, индексируемых широко известными базами данных в мировом научном сообществе. |
| НПЗ | Оптимизация технологического режима процесса установки каталитической депарафинизации дизельного топлива |

| | |
|---------------------------------|--|
| Научно-исследовательская группа | Разработка качественного ПО, получение финансирования на дальнейшие исследования и совершенствование продукции |
|---------------------------------|--|

Таблица 5.3 – Цели и результаты проекта

| | |
|--------------------------------------|---|
| Цели проекта: | Оптимизация режима работы установки каталитической депарафинизации дизельного топлива |
| Ожидаемые результаты проекта: | Максимальный выход продукта – дизельного топлива, сокращение побочных реакций в ходе протекания процесса |
| Критерии приемки результата проекта: | Адекватность полученной математической модели (минимальное расхождение между расчетными и экспериментальными значениями) должна составлять не менее 95% |
| Требования к результату проекта: | Возможность внедрения модели на производство в виде технологической моделирующей системы |
| | Компьютерная моделирующая система должна производить расчеты оптимальных параметров процесса с целью получения максимального выхода продукта, соответствующего требованиям стандартов |

5.3.2 Организационная структура проекта

Необходимо определить группу данного проекта и роль каждого участника, их функции и трудозатраты.

Таблица 5.4 – Рабочая группа проекта

| № п/п | ФИО, основное место работы, должность | Роль в проекте | Функции | Трудо-затраты, час. |
|-------|---|----------------------|---|---------------------|
| 1 | Белинская Наталия Сергеевна, к.т.н., доцент | Руководитель проекта | Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по | 50 |

| | | | | |
|--------|---|---------------------------|--------------------------------|-----|
| 2 | Маужигунова Екатерина Николаевна, магистрант | Исполнитель по проекту | Выполнение работ по проекту | 600 |
| ИТОГО: | | | | 650 |

5.3.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта.

Таблица 5.5 – Ограничения проекта

| Фактор | Ограничения/ допущения |
|---|------------------------|
| 3.1. Бюджет проекта | 400000 руб. |
| 3.1.1. Источник финансирования | НИ ТПУ |
| 3.2. Сроки проекта: | сентябрь 2019-май 2020 |
| 3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом | 05.09.2019 |
| 3.2.2. Дата завершения проекта | Май 2020 |

5.4 Планирование управления научно-техническим проектом

5.4.1 Контрольные события проекта

Список контрольных событий – это список важных моментов или событий проекта.

Таблица 5.6 – Контрольные события проекта

| № п/п | Контрольное событие | Дата | Результат (подтверждающий документ) |
|----------|--|------------|---|
| 1 | Получение задания и составление плана работ | 03.02.2020 | Отчет о плане работ |

Продолжение таблицы 5.6

| | | | |
|---|--|-------------------------|-------------------------|
| 2 | Изучение теоретических материалов | 05.02.2020 - 14.02.2020 | Отчет |
| 3 | Работа с литературой | 15.02.2020 - 06.03.2020 | Литературный обзор |
| 4 | Расчет термодинамических параметров на моделирующей программе | 07.03.2020 - 22.04.2020 | Отчет |
| 5 | Обработка результатов, совершенствование математической модели | 23.04.2020 - 01.05.2020 | Отчет |
| 6 | Оформление таблиц данных, графиков | 02.05.2020 - 10.05.2020 | Презентация |
| 7 | Обсуждение результатов | 11.05.2020 - 14.05.2020 | Отчет о результатах НТИ |
| 8 | Оформление пояснительной записки | 15.05.2020 - 31.05.2020 | Пояснительная записка |

5.4.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта.

Таблица 5.7 – Календарный план проекта

| Код работы (из ИСР) | Название | Длительность, дни | Дата начала работ | Дата окончания работ | Состав участников (ФИО ответственных исполнителей) |
|---------------------|---|-------------------|-------------------|----------------------|--|
| 1 | Получение задания и составление плана работ | 1 | 03.02.2020 | 03.02.2020 | Белинская Н.С., Маужигунова Е.Н. |
| 2 | Ознакомление с экспериментальными данными | 3 | 04.02.2020 | 07.02.2020 | Маужигунова Е.Н. |
| 3 | Изучение технологии процесса | 2 | 08.02.2020 | 09.02.2020 | Маужигунова Е.Н. |
| 4 | Работа с литературой | 14 | 10.02.2020 | 23.03.2020 | Маужигунова Е.Н. |

Продолжение таблицы 5.7

| | | | | | |
|--------|-------------------------------------|----|------------|------------|-------------------------------------|
| 5 | Расчет термодинамических параметров | 37 | 17.03.2020 | 24.04.2020 | Белинская Н.С., Маужигунова Е.Н. |
| 6 | Обработка результатов | 5 | 25.04.2020 | 30.04.2020 | Маужигунова Е.Н. |
| 7 | Оформление таблиц данных, графиков | 2 | 01.04.2020 | 02.05.2020 | Маужигунова Е.Н. |
| 8 | Обсуждение результатов | 4 | 03.05.2020 | 07.05.2020 | Маужигунова Е.Н. |
| 9 | Оформление пояснительной записки | 22 | 08.05.2020 | 30.05.2020 | Белинская Н.С., Маужигунова Е.Н. |
| Итого: | | 90 | | | |

На основе таблицы 5.7 строим календарный план-график.

Таблица 5.8 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

| Код работ ы (из ИСР) | Вид работ | Исполнители | Т _к , кал, дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|--|
| | | | | февр. | | март | | | апрель | | | май | | | |
| | | | | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | Получение задания и составление плана работ | Руководитель Магистрант | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Ознакомлени е с эксперимент альными данными | Магистрант | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Изучение технологии процесса | Магистрант | 2 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Работа с литературой | Магистрант | 14 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Расчет термодинами | Руководитель, Магистрант | 37 | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|------------------------------------|---------------------------|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | ческих параметров | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Обработка результатов | Магистрант | 2 | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Оформление таблиц данных, графиков | Магистрант | 4 | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Обсуждение результатов | Руководитель, Магистрант | 22 | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Оформление пояснительной записки | Магистрант | 10 | | | | | | | | | | | | |
| <i>i</i> | | | 90 | | | | | | | | | | | | |
| | | Руководитель и магистрант | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

5.4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3-5 % от цены). Результаты по данной статье занесем в таблицу 5.9.

Таблица 5.9 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

| Наименование | Ед. измерения | Кол-во | Цена за единицу, руб. | Сумма, руб. |
|--|---------------|--------|-----------------------|-------------|
| Бумага | пачка | 2 | 250 | 500 |
| Ручка | шт | 5 | 30 | 150 |
| Картридж для принтера | шт | 1 | 1130 | 1130 |
| Тетрадь | шт | 3 | 50 | 150 |
| Транспортно-заготовительные расходы (3-5%) | | | | 97 |
| Итого: | | | | 2027 |

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

Для выполнения данного проекта необходимо приобретение персонального компьютера для двух участников проекта, ПО MicrosoftOffice 365 для создания документов, лицензионного программного обеспечения Gaussian для расчета термодинамических параметров реакций в ходе процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива. Также необходимо иметь экспериментальные данные с завода, которые могут быть получены двумя способами: 1) запросить данные с лаборатории завода; 2) провести необходимые исследования в лаборатории кафедры.

Таблица 5.10 – Затраты на оборудование

| № п/п | Наименование оборудования | Количество единиц оборудования | Цена единицы оборудования, тыс. руб. | Общая стоимость оборудования, тыс. руб. |
|--------|--|--------------------------------|--------------------------------------|---|
| 1 | Персональный компьютер | 2 | 30,5 | 71,0 |
| 2 | Принтер | 1 | 4,49 | 4,49 |
| 3 | ПО Microsoft Office | 2 | 5,49 | 10,98 |
| 4 | Лицензия на программный пакет Gaussian | 1 | 40,0 | 40,0 |
| Итого: | | | | 126,47 |

Амортизация на ПО Gaussian

$A = C/СПИ$, где A – сумма амортизации, C – первоначальная стоимость объекта; СПИ – срок полезного использования объекта в годах.

$$A = 40000/5 = 8000$$

Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (5.2)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_{раб}, \quad (5.3)$$

где $Z_{осн}$ – среднедневная заработная плата одного работника, руб.;

$T_{р}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб. Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}}$$

где $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 5.11 – Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени | Руководитель | Магистрант |
|--|--------------|------------|
| Календарное число дней | 366 | 366 |
| Количество нерабочих дней | | |
| выходные дни: | 50 | 50 |
| праздничные дни: | 18 | 18 |
| Потери рабочего времени | | |
| отпуск: | 48 | 48 |
| невыходы по болезни: | 0 | 0 |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 250 | 250 |

$$Z_{дн(рук.)} = \frac{34190 \cdot 10,4}{250} = 1422 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн(маг.)} = \frac{16700 \cdot 10,4}{250} = 695 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} * (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) * k_{\text{р}}, \quad (5.4)$$

где $З_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда) [45];

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 5.12 – Расчёт основной заработной платы

| Исполнители | $З_{\text{б}}$, руб. | $k_{\text{пр}}$ | $k_{\text{д}}$ | $k_{\text{р}}$ | $З_{\text{м}}$, руб. | $З_{\text{дн}}$, руб. | Тр, раб. дн. | $З_{\text{осн}}$, руб. |
|-------------|-----------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------------|------------------------|--------------|-------------------------|
| Руководител | 26300 | - | - | 1,3 | 34190 | 1422 | 60 | 85320 |
| Магистрант | 16700 | - | - | 1,3 | 21710 | 695 | 90 | 62550 |
| Итого: | | | | | | | | 147870 |

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.

Дополнительная заработная плата рассчитывается в размере 12 % от основной заработной платы в качестве выплат за отпуска, выслугу лет, общественные работы и т.д.:

$$З_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

где $З_{\text{осн}}$ - основная заработная плата, руб.;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$K_{\text{доп.}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты, примем 12 %

Таблица 5.13 – Заработная плата исполнителей НТИ

| Заработная плата | Руководитель | Магистрант |
|---------------------------------|--------------|------------|
| Основная зарплата | 85320 | 62550 |
| Дополнительная зарплата | 10238 | 7506 |
| Итого по статье $C_{\text{зп}}$ | 95558 | 70056 |

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (5.5)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) [46].

Таблица 5.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель | Основная заработная плата, руб. | Дополнительная заработная плата, руб. |
|---|---------------------------------------|--|
| Руководитель проекта | 85320 | 10238 |
| Магистрант | 62550 | 7506 |
| Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды | 30,2 % | |
| Отчисления ,руб | 44657 | 5359 |
| Итого | 50016 | |

Накладные расходы

Накладные расходы составляют 15 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (5.6)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,15 * 165614 = 24842 \text{ руб.}$$

Таблица 5.15 – Группировка по статьям [47]

| Вид работ | Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты | Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ | Основная заработная плата | Дополнительная заработная плата | Отчисления на социальные нужды | Накладные расходы | Итого плановая себестоимость |
|-----------|--|--|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------------------|
| 1 | 2027 | 94470 | 147870 | 17744 | 50016 | 24842 | 336969 |

5.4.4 Организационная структура проекта

Для проводимого исследования характерна проектная организационная структура (рисунок 5.3).

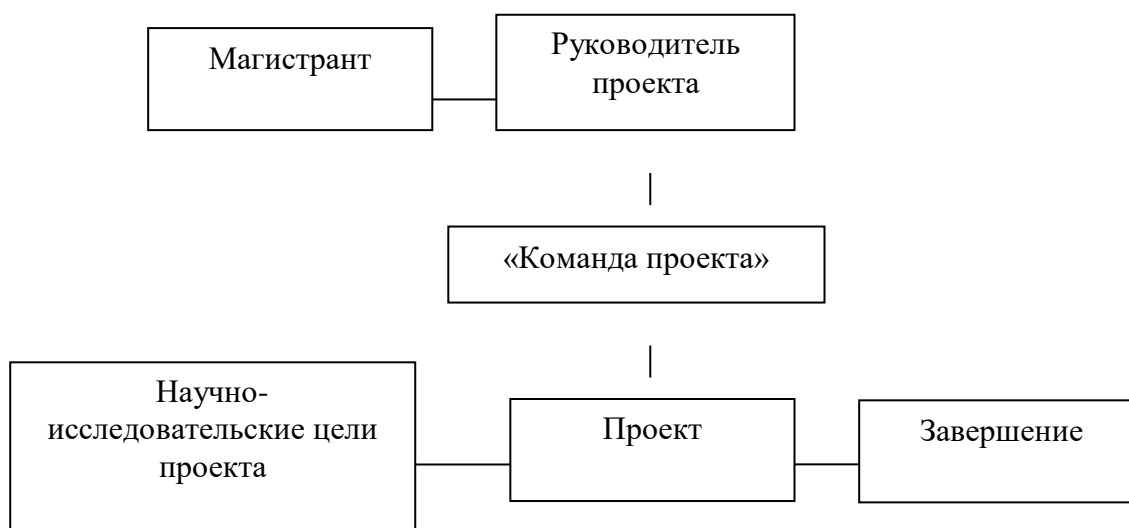


Рисунок 5.3 – Организационная структура проекта

5.4.5 Потенциальные риски

Риски с наибольшей вероятностью наступления и высокой степенью влияния будут иметь высокий уровень, риски же с наименьшей вероятностью наступления и низкой степенью влияния соответственно низкий уровень.

Возможные риски проекта приведены на рисунке 5.4.

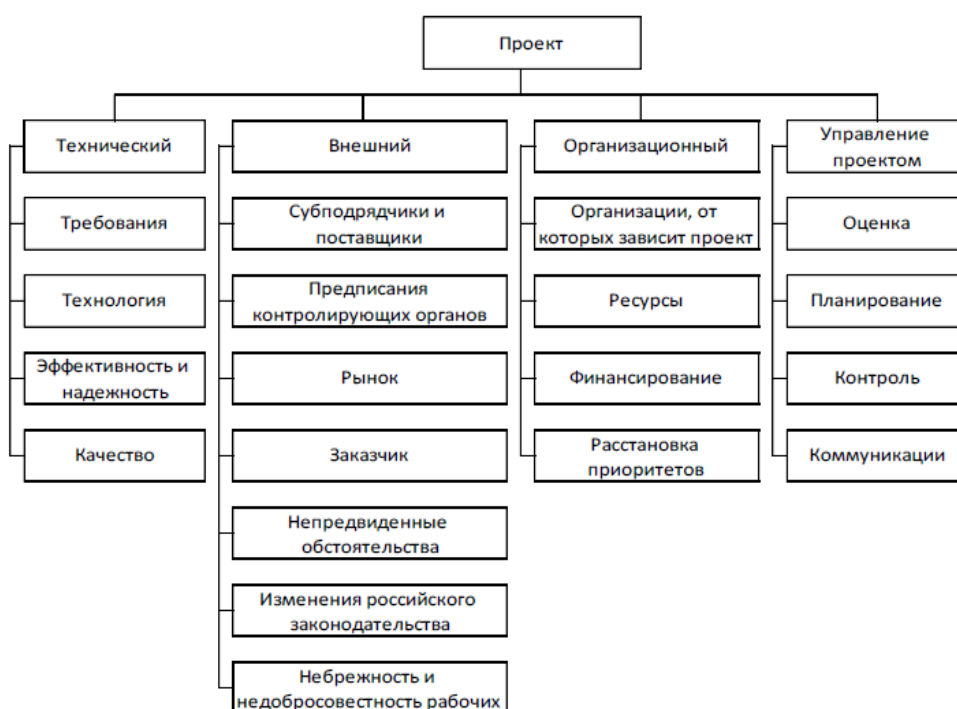


Рисунок 5.4 – Иерархическая структура рисков

Таблица 5.16 – Реестр рисков

| № | Риск | Вероятность наступления (1-5) | Влияние риска (1-5) | Уровень риска* | Способы смягчения риска | Условия наступления |
|---|---|-------------------------------|---------------------|----------------|--|--|
| 1 | Отсутствие финансирования | 3 | 3 | Низкий | Заинтересовать инвесторов | Незаинтересованность в данной разработке |
| 2 | Ограничения внедрения на рынок | 4 | 4 | Высокий | Провести маркетингово-ый анализ | Нет рекламы, незаинтересованность в отечественном продукте |
| 3 | Отсутствие прототипа научной разработки | 5 | 5 | Высокий | Выявить сильные и слабые стороны конкурентов | Наличие альтернативных разработок |

Из таблицы 5.16 видно, что уровень риска проекта средний. Так как исследование проводится совместно с действующим НПЗ.

5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта.

5.5.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Таблица 5.17 – Группировка затрат по статьям аналогов разработки

| Вариант исполнения аналога № | Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты | Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ | Основная заработная плата | Дополнительная заработная плата | Отчисления на социальные нужды | Накладные расходы, руб | Итого плановая себестоимость |
|------------------------------|--|--|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Стоимость разработки | 2027 | 94470 | 147870 | 17744 | 50016 | 24842 | 336969 |
| Аналог 1 | 2540 | 94470 | 147870 | 17744 | 50016 | 24842 | 337482 |
| Аналог 2 | 2180 | 94470 | 147870 | 17744 | 50016 | 24842 | 337122 |

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{336969}{337482} = 0,998$$

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{337482}{337482} = 1$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{337122}{337482} = 0,999$$

где I_{Φ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p,$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i-го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i-го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, представленной ниже.

Таблица 5.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Критерии \ Весовой коэффициент параметра | Текущий проект | I_m^p | Аналог 1 | I_m^{a1} | Аналог 2 | I_m^{a2} | |
|--|----------------|---------|----------|------------|----------|------------|------|
| 1.Адекватность разработки | 0,3 | 5 | 1,5 | 4 | 1,2 | 5 | 1,5 |
| 2.Унифицированность | 0,2 | 4 | 0,8 | 4 | 0,8 | 4 | 0,8 |
| 3. Простота применения | 0,24 | 4 | 0,96 | 5 | 1,2 | 3 | 0,72 |
| 4.Универсальность | 0,26 | 5 | 1,3 | 3 | 0,78 | 3 | 0,78 |
| ИТОГО | 1 | 18 | 4,56 | 16 | 3,98 | 15 | 3,80 |

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$), определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,56}{0,828} = 5,51$$

$$I_{финр}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\phi}^{a1}} = \frac{3,98}{1} = 3,98$$

$$I_{финр}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\phi}^{a2}} = \frac{3,80}{0,999} = 3,80$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{a1}} = \frac{5,51}{3,98} = 1,384$$

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{a2}} = \frac{5,51}{4,04} = 1,364$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{\text{тэ}}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{\text{тэ}}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 5.19 – Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели | Аналог 1 | Аналог 2 | Разработка |
|----------|---|----------|----------|------------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки | 1 | 0,999 | 0,997 |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 3,98 | 4,04 | 4,32 |
| 3 | Интегральный показатель эффективности | 3,98 | 4,04 | 5,22 |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения | 1,384 | | 1,364 |

Вывод: Сравнение значений интегральных показателей эффективности вариантов исполнения разработки показало, что более эффективным вариантом решения технической задачи, поставленной в магистерской работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности, является данная разработка.

6 Социальная ответственность

Введение

Процессы нефтепереработки реализуются с использованием сложных технологий, высокопроизводительного оборудования и широкой номенклатуры сырьевых материалов. Как правило, установки переработки сырья представляют собой крупногабаритные аппараты, эксплуатация которых зачастую сопровождается высоким уровнем вибраций, шума, а также ультра- и инфразвука. Вовлекаемое технологическое сырье представляет собой легковоспламеняющиеся, а иногда и высокотоксичные вещества.

Для обеспечения соблюдения требований охраны труда на предприятии существуют контролирующие органы власти, в качестве которых выступают Правительство РФ и уполномоченные исполнительные органы на местах, а также Федеральная служба по труду и Государственные инспекции труда.

В соответствии с [48] необходимо непрерывно совершенствовать систему страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, формированию страховых тарифов в зависимости от условий труда и уровня его охраны на рабочих местах.

Специальная оценка условий труда осуществляется согласно [49].

Объектом исследования данной работы математическая модель процесса гидрокрекинга вакуумного газойля.

Цель данной работы – расчеты и оптимизация технологических параметров процесса гидрокрекинга на данной математической модели.

Данная дипломная работа выполнялась в аудитории 135, расположенной на первом этаже 2-го учебного корпуса Томского политехнического университета. Аудитория 135 оборудована 15 ПК, 1 копировальным аппаратом, 1 принтером.

Экспериментальная часть магистерской диссертации осуществлялась на персональном компьютере при работе с различными программными обеспечениями в отделении химической инженерии.

Рабочая зона представляет собой аудиторию, оборудованную системами отопления, кондиционирования воздуха и естественным и искусственным освещением. Также в аудитории находится аптечка первой медицинской помощи, углекислотный огнетушитель для тушения пожара. Рабочее место – стационарное, оборудованное компьютером, соответствует требованиям.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Охрана труда в нашей стране является неотъемлемой частью рабочей и производственной деятельности. Составные части производственной безопасности отражены в нормативно-правовых источниках, которыми пользуются все организации организационно-правовых норм. Отношения, в которые вступают работники, основываются на трудовом праве.

Высшей силой и основой правового законодательства по охране труда является Конституция РФ [50]. Трудовой Кодекс [49] РФ имеет основные требования, направленные на урегулирование и создание безопасных условий труда. Согласно данному Кодексу, в частности статье 212 ТК РФ, а также в соответствии с [51] работодатель должен обеспечить безопасность труда, включая средства индивидуальной и коллективной защиты, выплаты и компенсации, женский труд и др.

Контроль эффективности мероприятий по охране труда проводится специальными органами. Сюда относятся ФЗ № 134-ФЗ от 8.08.01 г. «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при проведении государственного контроля (надзора)», приказ МЧС №132 «Инструкция по организации и осуществлению пожарного надзора в Российской Федерации», приказ МЗ № 228 «О порядке проведения мероприятий по контролю при осуществлении государственного санитарно-эпидемиологического надзора» и др.

За состоянием безопасности труда ведется надзор различными органами государства, ведомств и общества, такими как Прокуратура РФ, Федеральные

надзоры России в разных областях, Госкомсанэпиднадзор, Рострудинспекция. Также немалое значение имеют профсоюзы РФ, осуществляющими надзор и контроль за соблюдением условий безопасности труда на производстве через техническую инспекцию труда.

Рациональная планировка рабочего места должна обеспечивать: наилучшее размещение орудий и предметов труда, не допускать общего дискомфорта, уменьшать утомляемость работника, повышать продуктивность труда. Площадь рабочего места должна быть такой, чтобы работник не делал лишних движений и не чувствовал неудобства во время работы. Важно иметь также возможность изменить рабочую позу, то есть положение корпуса, рук, ног. Однако целесообразно исключить или минимизировать все физиологически неестественные и неудобные положения тела.

Проведенные исследования показывают, что при рациональной организации рабочих мест производительность труда возрастает на 15-25%. Основные эргономические требования к проектированию рабочего места в системе "человек - техника - производственная среда " изображены на рисунке 6.1:

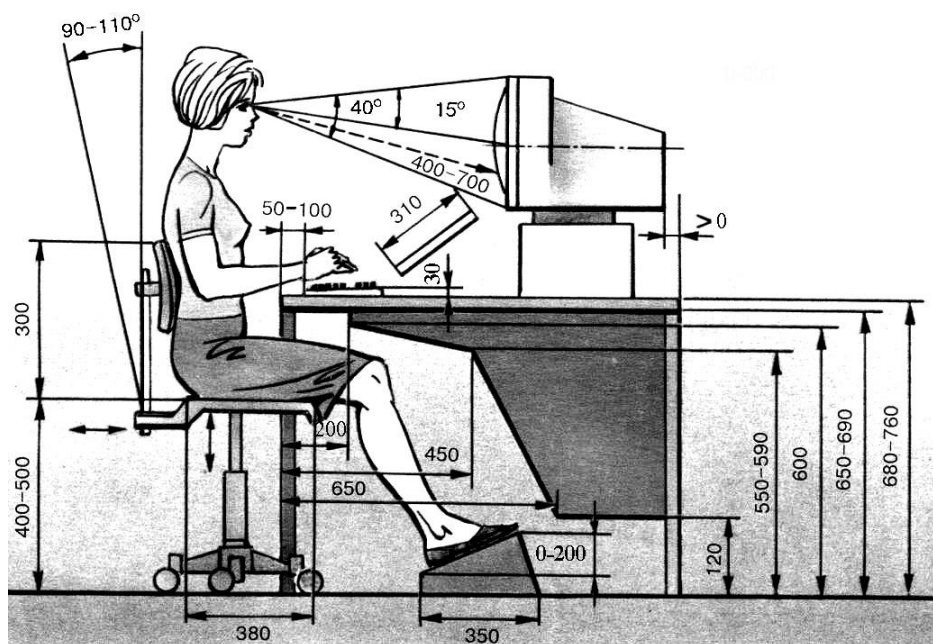


Рисунок 6.1 – Рабочий стол и размещение пользователя ПК

Гигиенические требования определяют условия жизнедеятельности и работоспособности человека в процессе взаимодействия с техникой и средой; показателями являются уровень освещения, температура, влажность, шум, вибрация, токсичность, загазованность.

Антропометрические требования определяют соответствие конструкций техники антропометрическим характеристикам человека (рост, размеры тела и отдельные двигательные звена). Показателями являются рациональная рабочая поза, оптимальные зоны досягаемости, рациональные трудовые движения.

Физиологические и психофизиологические требования определяют соответствие техники и среды возможностям работника. Относительно восприятия, переработки информации, принятия и реализации решений.

Организация рабочего места предусматривает:

- правильное размещение рабочего места в производственном помещении;
- выбор эргономично обоснованного рабочего положения, производственных мебели с учетом антропометрических характеристик человека;
- рациональная компоновка оборудования на рабочих местах;
- учета характера и особенностей трудовой деятельности.

Общие принципы организации рабочего места:

- на рабочем месте не должно быть ничего лишнего. Все необходимые для работы предметы должны быть рядом с работником, но не мешать ему;
- те предметы, которыми пользуются чаще, располагаются ближе, чем предметы, которыми пользуются реже;
- предметы, которые берут левой рукой, должны быть слева, а те предметы, которые берут правой рукой - справа;
- если используют обе руки, то местоположение приспособлений выбирается с учетом удобства захвата его двумя руками;
- рабочее место не должно быть загромождено;

- организация рабочего места должна обеспечивать необходимую обзорность.

Статические напряжения работника в процессе труда связаны с поддержанием в неподвижном состоянии предметов и орудий труда, а также поддержание рабочей позы.

Соблюдение правил работы за компьютером позволит снизить негативное воздействие компьютера на здоровье работника. Однако чаще всего именно работники пренебрегают данными правилами, и задача работодателя в данном случае – постоянно доводить до сведения своих сотрудников информацию о последствиях несоблюдения вышеизложенных требований и своими распоряжениями организовывать обязательные перерывы в работе.

6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

К специальным правовым нормам при данном типе исследований можно отнести ст.251 ТК РФ о применении норм к категориям работников, которые выполняют работу в специальных природно-климатических условиях. Так как исследования проводятся в г. Томск, приравненном к районам Крайнего Севера, то имеются некоторые льготы в виде надбавочного коэффициента при получении заработной платы или стипендиальных выплат.

6.2 Профессиональная социальная безопасность

Потенциально опасными и вредными факторами в процессе получения данных и их обработки определяются в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015.

Факторы, которые могут воздействовать на исследователя в ходе работы, приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Опасные и вредные факторы при исследовании математической модели процесса гидрокрекинга вакуумного газойля

| Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) | Этапы работ | | | Нормативные документы |
|--|-------------|--------------|--------------|---|
| | Разработка | Изготовление | Эксплуатация | |
| 1. Электромагнитные поля | + | + | + | ГОСТ 12.1.002–84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни и требования к проведению контроля на рабочем месте |
| 2. Превышение уровня шума | | + | + | СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы |
| 3. Недостаточная освещенность рабочего места | + | + | + | СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий |
| 4. Отклонение показателей микроклимата | + | + | + | СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. |
| 5. Электробезопасность | + | + | + | ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. |
| 6. Пожаробезопасность | + | + | + | 22.07.2013 г. №123 – ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности |

6.2.1 Анализ вредных факторов

При работе за персональным компьютером необходимо оценить характеристику информационного взаимодействия человека и персональных компьютеров (далее ПК), особенности организации рабочего места, условия

производственной среды, а именно освещение, микроклимат, уровень шума и вибрации, электромагнитные поля и т. д. Охрана труда при работе за персональным компьютером, регулируются [49,52,53].

Уровень электромагнитных полей и мягкого рентгеновского излучения. Одним из наиболее вредных факторов является ЭМП, которое при превышении допустимых уровней оказывает вредное влияние на нервную, иммунную, эндокринную системы человека. Наиболее подвержены влиянию ЭМП кровеносная система, головной мозг, глаза, иммунная и половая системы.

Мощность экспозиционной дозы в соответствии с [52] мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии от экрана 0,05 м не должна превышать 1 мкЗв/ч (100 мкР/ч). Согласно [53] допустимые уровни ЭМП в диапазоне частот 5Гц-2Гц, создаваемых ПК на рабочем месте пользователя составляет 25 В/м, плотность магнитного потока – 250 нТл.

Уровень акустического шума и вибрации. В соответствии с [54] уровень шума на рабочем месте пользователей ПК не должны превышать значений 50 дБА. В помещениях всех типов образовательных учреждений, в которых используются ПК, уровень вибрации должен быть ниже допустимых значений в соответствии с [55]. Рабочее место относится к общей вибрации 3 категории, типа В. Значения уровня акустического шума в учебной аудитории не превышают указанных норм.

Освещение на рабочем месте. Согласно [52,56,57] в компьютерных залах организовано естественное и искусственное освещение. Естественное освещение обеспечивается через оконные проемы с коэффициентом естественного освещения не ниже 1,2% в зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1,5% на остальной территории.

Размещение рабочего стола: монитор стоит тыльной и боковой сторонами к окнам, а естественный свет падает слева. В помещении эксплуатации компьютеров искусственное освещение осуществляется системой общего равномерного освещения. Для обеспечения нормативных значений

освещенности в помещении проводится чистка стекол оконных проемов и светильников, а также своевременная замена перегоревших ламп.

Микроклимат на рабочих местах, оборудованных ПК. На рабочих местах пользователей ПК должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата в соответствии с [58]. Согласно этому документу оптимальные характеристики микроклимата представлены в таблице 32. Рассматриваемая работа пользователя ПК относится к категории тяжести работ 1а (работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением).

Таблица 6.3 – Показатели микроклимата в холодный и теплый периоды времени

| Сезон | Температура воздуха, t, °С | Относительная влажность, % |
|--|----------------------------|----------------------------|
| Холодный и переходный (средне суточная температура меньше 10 °С) | 22-24 | 60-40 |
| Теплый (среднесуточная температура воздуха 10 °С и выше) | 21-23 | 60-40 |

Содержание вредных химических веществ. Содержание вредных химических веществ в воздухе помещений, предназначенных для использования ПК во всех типах образовательных учреждений, не должно превышать предельно допустимых среднесуточных концентраций для атмосферного воздуха в соответствии с [59].

6.2.2 Анализ опасных факторов

6.2.2.1 Электрический ток

Электробезопасность установки обеспечивается в любых возможных нормальных и аварийных эксплуатационных ситуациях. Источниками электрической опасности являются:

- оголенные части проводов или отсутствие изоляции;
- отсутствие заземления;

- замыкания;
- статическое напряжение.

Все помещения лаборатории соответствуют требованиям электробезопасности при работе с электроустановками по ГОСТ 12.1.019-79.

Для обеспечения непрерывного отвода зарядов статического электричества с тела человека, полы в производственном помещении покрыты диэлектрическим материалом – бетоном, керамической плиткой.

Все электрооборудование с напряжением свыше 36 В, находящееся в аудитории 135, а также оборудование и механизмы, которые могут оказаться под напряжением, надежно заземлены.

При поражении электрическим током необходимо как можно быстрее освободить пострадавшего от действия электрического тока, отключив электроприбор, которого касается пострадавший. Отключение производится с помощью УЗО.

При невозможности быстрого отключения электроприбора необходимо освободить пострадавшего от токоведущих частей деревянным или другим, не проводящим ток предметом источник поражения.

Во всех случаях поражения электрическим током необходимо вызвать врача [10].

6.2.2.2 Пожаробезопасность

Все помещения в компьютерном классе соответствуют требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 и имеют средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83.

Также к опасным факторам относится опасность возникновения пожара на рабочем месте.

В соответствии со ст. 26 [60] учебная аудитория, оборудованная компьютерами, относится к категории «В». Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях составлен «План эвакуации людей

при пожаре», который регламентирует действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывает места расположения пожарной техники.

Горючими компонентами в помещении являются: строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, изоляция кабелей и др.

Источниками возгорания могут служить электрические схемы от ПК, приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, кондиционирования воздуха, где в результате различных нарушений в работе элементы перегреваются, могут возникнуть электрические искры, способные вызвать загорания горючих материалов. Для тушения возгорания в помещении предусмотрен углекислотный огнетушитель.

Профилактические меры включают: периодические проверки состояния пожарной безопасности, обеспечение контроля за своевременным выполнением предложенных мероприятий; проведение пожарно-технических обследований объекта представителями Государственного пожарного надзора, установление действенного контроля за выполнением предписаний и приказов, проведение бесед-инструктажей и специальных занятий, проверку исправности и правильного содержания стационарных автоматических и первичных средств пожаротушения, противопожарного водоснабжения и систем извещения о пожарах.

Основной метод профилактической работы – устранение выявленных входе проверки недочетов на месте, а при отсутствии такой возможности - в кратчайший срок.

6.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

6.2.3.1 Электробезопасность

Электробезопасность обслуживающего персонала и посторонних лиц обеспечивается выполнением следующих мероприятий:

- 1) соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей или путем закрытия;
- 2) ограждение токоведущих частей;
- 3) применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
- 4) применение предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
- 5) применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
- 6) использование средств защиты и приспособлений, в том числе для защиты от воздействия электрического и магнитного полей в электроустановках, в которых их напряженность превышает допустимые нормы.

Для контроля предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов измерять напряжения и токи в местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека. Класс точности измерительных приборов должен составлять не ниже 2,5.

6.2.3.2 Пожаробезопасность

Профилактические меры включают: периодические проверки состояния пожарной безопасности, обеспечение контроля за своевременным выполнением предложенных мероприятий; проведение пожарно-технических обследований объекта представителями Государственного пожарного надзора, установление действенного контроля за выполнением предписаний и приказов, проведение

бесед-инструктажей и специальных занятий, проверку исправности и правильного содержания стационарных автоматических и первичных средств пожаротушения, противопожарного водоснабжения и систем извещения о пожарах [63].

Основной метод профилактической работы – устранение выявленных в ходе проверки недочетов на месте, а при отсутствии такой возможности - в кратчайший срок.

6.2.3.3 Микроклимат

Параметры микроклимата в компьютерном классе, в котором выполнялось исследование, соответствуют оптимальным для холодного периода и немного завышены для теплого периода, за счет того, что в компьютерном классе установлены пластиковые окна и нет теплообмена с окружающей средой. Для того чтобы температура в компьютерном классе в теплый период соответствовала оптимальным значениям, необходимо регулярно проветривать помещение.

6.3 Экологическая безопасность

Непосредственно математическая модель, реализованная в виде компьютерной программы, не оказывает влияния на окружающую среду. Но существует такая проблема, как утилизация компьютеров и другой оргтехники, ведь детали, из которых они выполнены, не являются такими безвредными для окружающей среды, как это может показаться на первый взгляд.

Каждый персональный компьютер содержит не только ценные цветные металлы, но и целый набор опасных для окружающей среды веществ. Это производные газов, тяжелые металлы, среди которых кадмий, ртуть и свинец. Попадая на свалку, все эти вещества под воздействием внешней среды постепенно проникают в почву, отравляют воздух и воду.

Также в процессе утилизации из техники извлекаются и материалы, которые могут быть использованы для вторичной переработки. «Начинка» каждого персонального компьютера содержит:

- ценные металлы – золото, серебро, платина, палладий и тантал;
- черные и цветные металлы – железо, медь и алюминий;
- стекло и полимерные материалы.

Самый распространенный метод заключается в переработке оргтехники с последующим ее использованием для производства новых изделий. Данную задачу обычно поручают дочерним организациям, где производится чистка, ремонт, а также замена всех изношенных частей принтеров, МФУ и прочего оборудования.

Другое метод подразумевает разложение списанной оргтехники. Он состоит из двух составляющих: механической и термической. Для начала все отработанные устройства разбираются на комплектующие, которые подвергаются дальнейшей сортировке и утилизации частями. Современные технологии позволяют решить эту задачу с минимальным уроном для окружающей среды и с высокой эффективностью [64].

К примеру, из некогда компьютерного хлама можно выделить аффинированные металлы. Речь идет о золоте, серебре, платине, палладии с чистотой в пределах 99,95–99,99 %. Замкнутый цикл производства состоит из следующих этапов: первичная сортировка оборудования; выделение драгоценных, черных и цветных металлов и других материалов; плавление; аффинаж и переработка металлов.

Соответственно, предприятия по переработке могут предложить такой ассортимент продукции:

- слитки и порошки из драгметаллов;
- аноды;
- проволока и припой, используемые в стоматологии;
- соли драгоценных металлов;
- ювелирные изделия.

Так что старое компьютерное «железо» может иметь новую жизнь, причем гораздо более интересную. Однако для того чтобы это стало возможным, следует найти в себе силы и желание не просто выбросить компьютер на свалку, а позаботиться о безопасной утилизации оргтехники. Это обязанность человека не только как гражданина страны, но и как составной части гражданского сознательного общества.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Для данного вида работы основная чрезвычайная ситуация – это попытка взлома системы с целью похищения важных данных с целью использования на действующем производственном объекте.

Хищение информации о процессе и последующее использование на производстве может привести к сбою технологического режима, а также выходу из строя установок процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива.

Данная установка для получения экологически чистого дизельного топлива является объектом техногенной опасности, т.е. объектом, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют опасные химические вещества, при аварии на котором или при разрушении которого может произойти гибель или химическое заражение людей, растений, а также окружающей среды.

В состав предприятия входят как площадочные опасные производственные объекты (насосы, емкости, резервуары, печи, сепараторы, компрессора), так и линейные (различные линии трубопроводов). Возможны различные аварийные ситуаций: разгерметизация оборудования, трубопроводов, пожары как следствие взрывов при повышенном давлении [61].

В таблице 6.4 приведены возможные аварийные ситуации и способы устранения.

Таблица 6.4 – Возможные виды аварийного состояния производства и способы их устранения [62]

| Возможные производственные аварийные ситуации | Причины возникновения производственных аварийных ситуаций | Действия персонала по предупреждению и устранению производственных аварийных ситуаций |
|---|--|--|
| Взрывы, пожары, разгерметизация трубопровода | Несоблюдение режима ведения процесса, разгерметизация оборудования и трубопроводов, разлив взрыво- пожароопасных веществ | <ol style="list-style-type: none"> 1. Необходимо вызвать пожарную охрану и бригаду скорой помощи 2. Включение звуковой аварийной сигнализации 3. Перекрыть подачу теплоносителей. Прекратить подачу сырья 4. Сброс давления на факел 5. Остановка остального оборудования |
| Сбой системы электроснабжения | Неполадки в системе электроснабжения | <ol style="list-style-type: none"> 1. Сообщить начальнику цеха или мастеру установки 2. Перекрыть подачу топлива к горелкам печей 3. Подать пара на паровую завесу печей 4. Проконтролировать отключение насосного оборудования |

Информационная безопасность заключается в обеспечении лицензированных программных пакетов для работы с математической моделью, а также своевременная установка антивирусной системы.

В случае попадания математической модели в «чужие» руки это грозит утерей информации, сбоем технологического процесса, что может привести к катастрофе техногенного характера, а также большая экономическая потеря.

Компьютеры в 135 аудитории оснащены современной версией антивирусной системы Касперского, а также на каждой компьютере установлен пароль для предотвращения утечки информации.

Выводы:

В результате анализа влияния разработки и модернизации математической модели процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива на социальные сферы жизни можно заключить, что данная разработка позволяет значительно снизить риски возникновения различного рода чрезвычайных ситуаций на производстве, тем самым обеспечить социальную безопасность работников предприятия на достаточно высоком уровне. Изучение влияния вредных и опасных факторов при модернизации математической модели позволяет учесть всевозможные риски еще на этапе разработки.

Заключение

Анализ литературных данных показал, что существующие на сегодняшний день технологии производства зимнего и арктического дизельного топлива являются не достаточно экономически эффективными и обоснованными. Часть этих процессов не представляет возможности полного и безостаточного вовлечения сырья, например, смешение дизельной фракции с керосиновой, уменьшение температуры конца кипения фракции путем экстракции некоторых соединений. Другая часть может оказаться слишком дорогостоящей в больших масштабах производства, например, применение депрессорных присадок. Поэтому процесс каталитической депарафинизации, основанный на селективном превращении неразветвленных парафинов в изо-соединения, имеющие более низкие значения температур застывания, помутнения и предельной фильтруемости, становится все более широко используемым на нефтеперерабатывающих производствах. Преимущество этого процесса перед конкурентной ему технологией изомеризационной депарафинизации заключается в стоимости катализатора, составляющую большую часть расходов производства. Такой процесс позволяет получать марки зимнего и арктического дизельного топлива, соответствующие требованиям ГОСТ и европейских стандартов по низкотемпературным характеристикам и содержанию серы.

Основная проблема, возникающая при эксплуатации промышленных установок данного процесса – это сложность оптимизации технологических параметров ввиду нестационарности процесса. Реакции протекают в динамическом режиме в неподвижном слое бифункционального катализатора. Катализатор, как правило, со временем теряет свою активность из-за протекания побочных реакций, ведущих к необратимому закоксуыванию кислотных и металлических активных центров катализатора.

Математическая модель процесса каталитической депарафинизации, разработанная на основе термодинамических и кинетических закономерностей

основных и побочных реакций, протекающих на поверхности катализатора, а также учитывающая факторы нестационарности процесса, такие как дезактивация катализатора, меняющийся состав сырья установки и реакционную способность углеводородов, позволяет решить одновременно несколько задач. Во-первых, оптимизировать технологические режимы реактора с учетом состава сырья, с возможностью получения высокого выхода дизельного топлива (до 86 %) требуемого качества. Во-вторых, модель позволяет прогнозировать технологические условия в реакторе с целью получения оптимальных параметров, которые помогут сохранить ресурс катализатора на максимально продолжительный срок.

Список публикаций студента:

1. Маужигунова Е.Н., Белинская Н.С., Белозерцева Н.Е. Исследование процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня рождения академика К. И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К. В. Радугина – Томск: Изд-во ТПУ. – 2019. – Т. 2. – С. 342-344.

2. Маужигунова Е.Н., Белинская Н.С. Исследование процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XX Международной научно-практической конференции имени профессора Л. П. Кулёва студентов и молодых ученых – Томск: Изд-во ТПУ. – 2019. – С. 381-382.

3. Mauzhigunova E.N., Belinskaya N.S. Studing the pressure influence on the process of diesel fuel catalytic dewaxing // Problems of Geology and exploitation of mineral resources. XXII international symposium named after academician M. A. Usov of students and young scientists, dedicated to the 120th anniversary of the birth of academician K. I. Satpayev, the 120th anniversary of the birth of Professor K. V. Radugin. – Tomsk: Ed. TPU. – 2019. – P. 708-709.

4. Belinskaya N.S. Identification of Regularities of Vacuum Gas Oil Hydrocracking Process / Belinskaya N.S., Mauzhigunova E.N., Afanaseva D.A., Vymyatnin E.K. // Petroleum and Coal – 2020. – Vol 62(2). – P. 390-395.

5. Белинская Н.С. Программное обеспечение для оптимизации процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив / Белинская Н.С., Белозерцева Н.Е., Маужигунова Е.Н., Быкова В.В. // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых.– Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2020. – С. 292-293.

6. Маужигунова Е.Н., Белинская Н.С. Термодинамический анализ реакций гидрокрекинга н-парафинов в процессе каталитической

депарафинизации дизельного топлива // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIV Международного научного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М. А. Усова, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2020.

7. Mauzhigunova E.N. Quantum-chemical calculations of the thermodynamic properties of n-paraffins hydrocracking reactions // Problems of Geology and exploitation of mineral resources. XXIV international symposium of students and young scientists named after academician M. A. Usov, dedicated to the 75th anniversary of Victory in the great Patriotic war. – Tomsk :Ed. TPU. – 2020.

Список используемых источников

1. Белинская Н.С. Компьютерная моделирующая система процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив / Н.С.Белинская, Э.Д. Иванчина, И.М. Долганов, Н.Е. Белозерцева // Ползуновский вестник. – АлтГТУ: Барнаул. – 2019. – №3. – С. 99-106.
2. Хавкин В. А. Гидрогенизационные процессы переработки нефти с получением дизельного топлива современного уровня качества // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2018. – № 5. – С. 18-20.
3. Хавкин В.А. Варианты процесса гидрокрекинга вакуумных дистиллятов / В.А. Хавкин, Л.А. Гуляева, Е.А. Чернышёва // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2014. – № 4. – С. 8-12.
4. ТР ТС 013/2011. Технический регламент Таможенного союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту». – СПб: Кодекс. – 2011. – 31 с.
5. Лебедев Б.Л. Производство зимнего дизельного топлива в России / Б.Л. Лебедев, И.П. Афанасьев, Л.В.Ишмурзин, С.Ю Талалаев., А.В.Камешков, П.И. Домнин // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2015. – № 4. – С. 19-27.
6. Синюта В.Р. Производство арктических дизельных топлив / В.Р. Синюта, Н.Ф. Орловская // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2017. – № 9. – С. 16-18.
7. Агаев С.Г. Депарафинизация летнего дизельного топлива Антипинского НПЗ в постоянном электрическом поле высокого напряжения / С.Г. Агаев, Н.С. Яковлев, Е.Ю. Зима // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2009. – № 10. – С. 6-8.
8. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие для вузов. Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.

9. Новацкий Г.Н. Современные методы улучшения качества дизельных топлив / Г.Н. Новацкий, С.В. Водолажский, Б.Г. Соколов // Нефть. Газ. Промышленность. – 2004. – №2. – С. 22.
10. Киселёва Т.П. Каталитическая депарафинизация: состояние и перспективы. Часть 1 / Т.П. Киселёва, Р.Р. Алиев, О.М. Посохова, М.И. Целютина // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. – № 1. – С. 3-4.
11. Киселёва Т.П. Каталитическая депарафинизация: состояние и перспективы. Часть 2 / Т.П. Киселёва, Р.Р. Алиев, О.М. Посохова, М.И. Целютина // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. – № 2. – С. 3-8.
12. Груданова А.И. Повышение эффективности производства низкозастывающих дизельных топлив регулированием состава катализаторов термогидрокаталитических процессов: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – 2016. – 182 с.
13. Marafi M., Stanislaus A., Furimsky E. Handbook of Spent Hydroprocessing Catalysts. Chapter 10 – Spent Catalysts from Dewaxing Operations. – Elsevier. – 2010. – P. 259-267.
14. Bendoraitis J.G., Chester A.W., Dwyer F.G., Garwood W.E., Tokyo, Proc. 7th Int. Zeol. Conf . – 2004. – P. 669.
15. N.Y. Chen, W.E. Garwood. Industrial and Engineering Chemistry Research. – Vol. 25. – 2005 – P. 641.
16. Gillespie R.D. Solid-acid isomerization catalyst and process: US Patent 7,041,866. – 09.05.2006.
17. Gillespie R.D. Isomerization catalyst and processes: US Patent 6,977,322. – 20.12.2005.
18. Vassilakis J.G., Rosin R.R., Bradley S.A., Gillespie R.D., Cohn M.J., Xu F. High-activity isomerization catalyst and process: US Patent 7,015,175. – 21.03.2006.
19. Belinskaya N.S. Unsteady-state mathematical model of diesel fuels catalytic dewaxing process / N.S. Belinskaya, E.V. Frantsina, E.D. Ivanchina // Catalysis Today. – 2019. – Vol. 329. – P. 214-220.

20. Иванчина Э.Д. Влияние кратности циркуляции водородсодержащего газа на активность катализатора депарафинизации / Э.Д. Иванчина, Н.С. Белинская, Е.В. Францина, А.С. Луценко, Е.В. Аверьянова // Технологии нефти и газа. – 2018. – № 2. – С. 8-12.

21. Крылов О.В. Гетерогенный катализ: Учебное пособие для вузов / О.В. Крылов – М.: ИКЦ «Академкнига». – 2004. – 679 с.

22. Belinskaya N.S. Mathematical modelling of “reactor – stabilizer column” system in catalytic dewaxing of straight run and heavy gasoils / N.S. Belinskaya, E.V. Frantsina, E.D. Ivanchina // Chemical Engineering Journal. – 2017. – Vol. 329. – P. 283-294.

23. Курочкин И.М. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / И.М. Курочкин, В.В. Островиков, С.А. Нагорнов, О.А. Клейменов, В.Д. Прохоренков // Тамбовский государственный технический университет: – 2008. – 21 с.

24. Магарил Е.Р. Моторные топлива: учебное пособие / Е.Р. Магарил, Р.З. Магарил. – М.: КДУ. – 2008. – 160 с.

25. Сырбаков А.П. Топливо и смазочные материалы: учебное пособие / А.П. Сырбаков, М.А. Корчуганова // Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2015. – 159 с.

26. Бурюкин Ф.А. Улучшение качества низкозастывающих дизельных топлив в процессе каталитической гидродепарафинизации / Ф.А. Бурюкин, С.С. Косицына, С.А. Савич, Е.В. Смирнова, С.В. Хандархаев // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 325. – № 3. – С. 14-22.

27. Загоруйко А.Н. Основы математического моделирования каталитических реакторов. учебно-методическое пособие. – Новосибирск: Редакционно-издательский центр НГУ. – 2015. – 64 с.

28. Ушева Н.В. Математическое моделирование химико-технологических процессов: учебное пособие / Н.В. Ушева, О.Е. Мойзес, О.Е. Митянина, Е.А.

Кузьменко – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2014. – 135 с.

29. Загоруйко А.Н. Математическое моделирование каталитических процессов нефтепереработки на основе термодинамически содержательных кинетических моделей / А.Н. Загоруйко, А.С. Носков // Нефтепереработка: катализаторы и гидропроцессы: Тезисы докладов научно-технологического симпозиума. – Санкт-Петербург: Институт катализа СО РАН. – 2014. – С.55-56.

30. Анчита Хорхе. Переработка тяжелой нефти: реакторы и моделирование процессов; пер. с англ. под ред. О.Ф. Глаголевой, В.А. Винокурова. – Санкт-Петербург: Профессия. – 2015. – 588 с.

31. Белинская Н.С. Совершенствование работы сопряженной системы «реактор – колонна стабилизации» процесса каталитической депарафинизации дизельных фракций нефти методом математического моделирования: дис. .. канд. техн. наук: 05.17.08: защищена : утв / Автор Белинская Н.С. – Томск. – 2015. – 170 с.

32. Жоров Ю.М. Моделирование физико-химических процессов нефтепереработки и нефтехимии – Москва: Химия. – 1978. – 376 с.

33. Михаил Гаврилович Слинько – служение Науке и Отечеству / сост. М.М. Слинько, А.С. Носков, В.А. Чумаченко, Н.П. Беляев; отв. ред. В.Н. Пармон; Рос. акад. наук, Сиб. Отд-е, Ин-т катализа им. Г.К. Борескова. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2014. – 540 с.

34. Кленов О.П., Носков А.С. Применение вычислительной гидродинамики при моделировании каталитических реакторов. – Издательство СО РАН. – 2014. – 540 с.

35. Ivanchina E.D. Mathematical modeling of multicomponent catalytic processes of petroleum refining and petrochemistry / E.D. Ivanchina, E.N. Ivashkina, I.O. Dolganova, N.S. Belinskaya // Reviews in Chemical Engineering. – In Press.

36. Сталл Д. Химическая термодинамика органических соединений / Д. Сталл, Э. Вестрам, Г. Зинке – М.: Мир. – 1971. – 806 с.

37. Татевский В.М. Физико-химические свойства индивидуальных углеводородов. – М.: Гостоптехиздат. – 1960. – 412 с.
38. Полещук О.Х., Кижнер Д.М. Химические исследования методами расчета электронной структуры молекул: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТГПУ. – 2006. – 146 с.
39. Cristian J., Calderón, Jorge Ancheyta. Modeling of CSTR and SPR small-scale isothermal reactors for heavy oil hydrocracking and hydrotreating // Fuel. – 2018. – Vol 216. – P. 852-860.
40. Becker P.J. Comparing hydrocracking models: Continuous lumping vs. single events / P.J. Becker, N. Serrand, B. Celse., D. Guillaume, H. Dulpt // Fuel. – 2016. – Vol 165. – P. 306-315.
41. Белинская Н.С. Новый подход к моделированию деструктивных процессов переработки атмосферного и вакуумного газойля тяжелой нефти в низкозастывающие моторные топлива зимних и арктических марок // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня рождения академика К. И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К. В. Радугина. – Томск : Изд-во ТПУ. – 2019. – Т. 2. – С. 311-313.
42. Хавкин В.А. О сырье процесса гидрокрекинга / В.А. Хавкин, Л.А. Гуляева, П.А. Никульшин // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2019. – № 9. – С. 3-6.
43. Guo K., Li H., Yu Zh. In-situ heavy and extra-heavy oil recovery: A review // Fuel. – 2016. – Vol. 185. – P. 886-902.
44. ГОСТ 305-2013. Топливо дизельное. Технические условия. – М.: Стандартинформ. – 2013. – 27 с.
45. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2014. – 73 с.

46. Карпунин М.Г. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / М.Г. Карпунин, Б.И. Майданчик – М.: Энергия. – 1980. – 175 с.

47. Кудашов В.И., Нечепуренко Ю.В. Формы и методы коммерциализации интеллектуальной собственности // Труды БГТУ. Экономика и управление. – 2015. – №7. – с. 34-38.

48. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

49. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (принят ГД ФС РФ 21.12.2001) (ред. от 20.04.2020 г)// СПС Консультант

50. Конституция Российской Федерации от 12.12.1993 г. – ГУ издательство "Юридическая литература" Администрации Президента Российской Федерации, 2009. – 64 с.

51. ГОСТ 12.0.006-2002. Система стандартов безопасности труда. Общие требования к системе управления охраной труда в организации. Введ. 29.05.09. – М.:Изд-во стандартов, 2003. – 16 с.

52. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03: утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 13 июня 2003 г. № 118 г. Москва.

53. ГОСТ 12.1.002–84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни и требования к проведению контроля на рабочем мест. – введ. 01.01.1986.- М.: Стандартиформ, 2009. – 7 с.

54. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 утверждены Постановлением Госкомсанэпиднадзора России 31 октября 1996 г. № 36. Москва.

55. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий: санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.566-96: утверждены

Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 31 октября 1996 г. № 40. Москва.

56. Естественное и искусственное освещение: санитарные нормы и правила СНиП 23-05-95 утверждены Постановлением Минстроя России от 2 августа 1995 г. № 18-78. Москва.

57. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий: санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03: утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 6 апреля 2003 г. Москва.

58. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.548-96: утверждены Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 1 октября 1996 г., № 21. Москва.

59. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313-03: утверждены главным государственным санитарным врачом РФ 27.04.2003. Москва.

60. Комплекс упражнений на рабочем месте за компьютером [Электронный ресурс] / 1997– 2014 «ЭргоСОЛО». – Режим доступа: http://ergosolo.ru/reviews/health/office_exercises/, свободный. – Загл. С экрана. – Дата обращения 15.05.2016 г.

61. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов: санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03 : утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 25 сентября 2007 г. № 74 г. Москва.

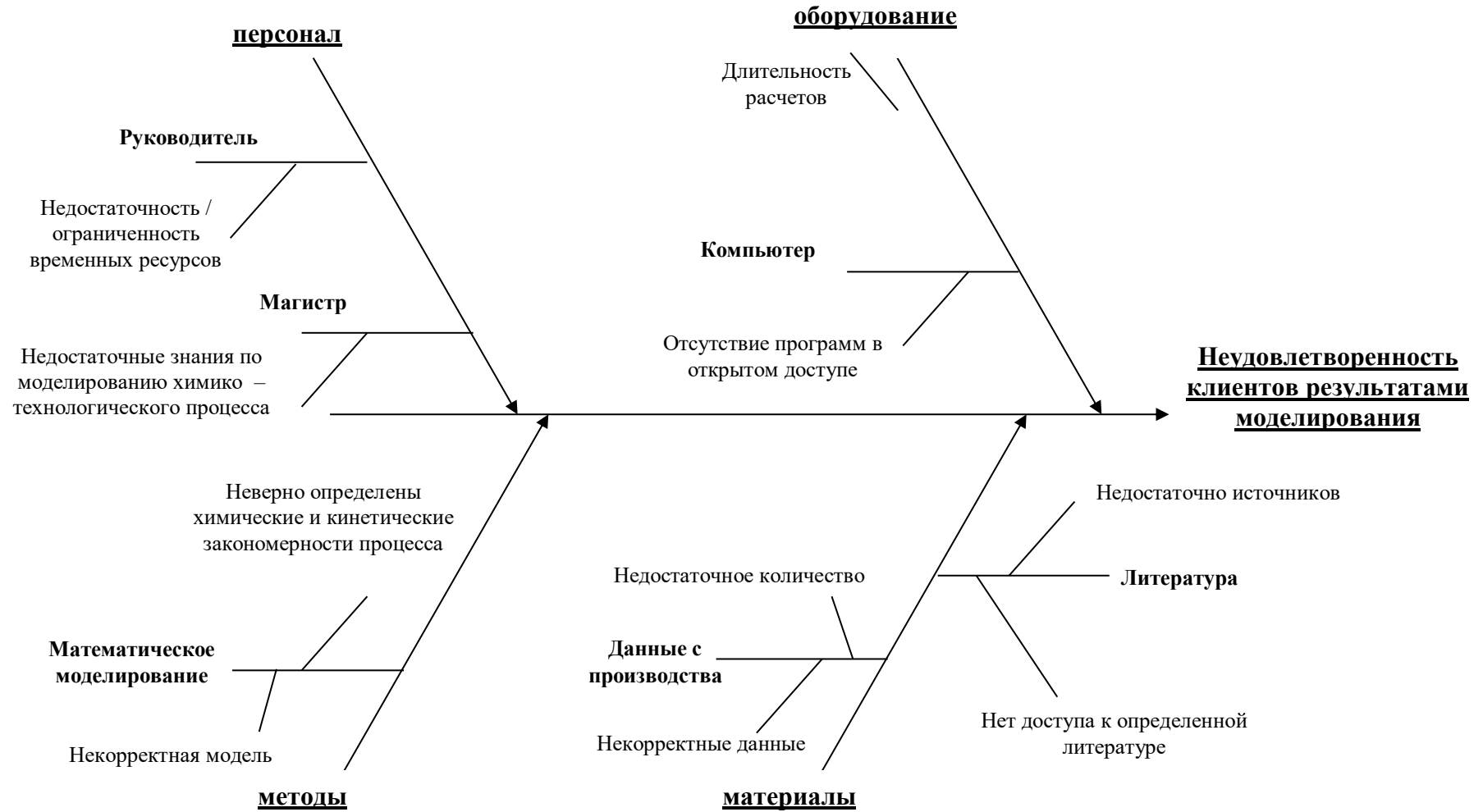
62. ГОСТ Р 22.9.22. – 2014. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Аварийно-спасательные средства. Классификация. – введ. 01.09.2014. – М.: Стандартинформ, 2014. – 23 с.

63. Горячев С.А., Клубань В.С. Пожарная профилактика технологических процессов производств. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1983.

64. Абросимов А.А. Экологические аспекты производства и применения нефтепродуктов. М.: БАРС, 1999 – 732с.

Приложение А

Диаграмма Исикавы



Приложение Б

(справочное)

Hydrogenation processes in the production of diesel fuels

Студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------------|---------|------|
| 2ДМ82 | Маужигунова Екатерина Николаевна | | |

Руководитель ВКР Отделения химической инженерии

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|--------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОХИ | Белинская Наталия Сергеевна | к.т.н. | | |

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|-------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОИЯ | Матвеевко Ирина Алексеевна | д.ф.н. | | |

1 Hydrogenation processes in the production of diesel fuels

1.1 State and prospects of development of hydrogenation processes of processing of crude hydrocarbon in Russia

Currently, hydrogenation processes are widely used in the oil refining industry due to a number of reasons:

- stricter requirements for the quality of petroleum products;
- increase in the volume of sulfur and high-sulfur oils entering the refining process.

Most Russian oil refineries to produce winter diesel fuel production, as severe climatic conditions create significant problems for transport in the Northern hemisphere due to the loss of fluidity of diesel fuel at low temperatures.

Most of Russians territory belongs to the zones with a moderate cold and arctic climate [4]. For this reason it is important to provide Northern and Arctic latitude regions with winter and arctic diesel fuel that meets all regulatory requirements [5].

Today in the country, the share of winter and Arctic diesel fuel production is about 18% of the total diesel fuel produced, despite the fact that the need for low-carbon diesel fuel is twice as high.

Winter and arctic diesel fuels can be obtained in the following ways:

- using depressant additives and paraffin dispersants that lower the pour point and also have a slight effect on the fuel turbidity temperature;
- by reducing the boiling point temperature, by processing "summer" diesel fuel, or by separating 140-300 °C from the oil fraction. However, using this method, there is an end to the production of aviation kerosene and summer diesel fuel, as well as an increase in the fire hazard of the fuel;
- partial removal of high-melting n-paraffins by electro-paraffinization. This method allows improvement in the low-temperature properties by only 10-15 °C [6];

- use of urea dewaxing based on the ability of paraffins to form solid complexes with urea that are insoluble in petroleum products [8];
- the use of sorbents that adsorb selectively solidifying or low-setting components from petroleum raw materials. The most common adsorbents are activated by carbon and molecular sieves made of zeolite type A [7, 8];
- extraction for selective separation of low- and high-ash components of diesel fuel. This method is not widely used due to the high energy intensity and complexity of the technology organization;
- catalytic processes of hydrocracking, dewaxing and isomerization aimed at changing the hydrocarbon composition of the fuel to improve low-temperature properties (filterability limit temperature, pour point and turbidity of the fuel);
- production of biodiesel with a high cetane number from vegetable oils. This method is not widely used due to increased fuel production costs.

At the moment, Russian refineries, despite the huge variety of methods offered, produce winter grades of diesel fuel by catalytic dewaxing or using depressant additives and reducing the boiling point [9].

In Russia, most of the diesel fuel is produced by facilitating the composition of distillates in atmospheric vacuum tube installations or by mixing summer diesel fuels with kerosene fraction. This method reduces the resources of valuable jet fuel and leads to deterioration in the quality of produced diesel fuel, namely, reduces flash points, cetane number and viscosity.

The use of depressant-dispersing additives does not always allow the production of winter and arctic brands of diesel fuel, since the addition of additives leads to a decrease in the maximum filterability temperature, but does not lead to a decrease in the turbidity temperature.

The use of technologies based on reducing the concentration of paraffins of normal and weakly branched structure in the fuel is the most effective method for the production of arctic and winter brands of diesel fuel. Catalytic dewaxing is one of these processes.

To date, in Russia, winter diesel fuel is produced by catalytic dewaxing at 6 plants in the cities of Omsk, Achinsk, Surgut, Ukhta, Kirishi and Komsomolsk-on-Amur [5].

Let us look at these installations and how the process is performed at them:

1) At the Ukhta oil refinery, the process is carried out on a specialized GDS-850 unit at a pressure of 5 MPa, and diesel fuel is obtained with a pour point of minus 40 – 45 °C.

2) The Surgut condensate stabilization plant produces diesel fuel with a low sulfur content not exceeding 10 mg/kg during the catalytic dewaxing process.

3) Omsk oil refinery combined L-24-9xRT units to reduce the sulfur content in the diesel fraction to 10 ppm and L-24-6 units to improve the low-temperature properties of diesel fuel produced.

4) The combined plant LK-6U, operating at a pressure of 5-6 MPa, was put into operation in JSC "Achinsk oil refinery VNK".

5) The ZDT L-24-10/2000 production unit was launched at the Kirishioilrefinery. A mixture of atmospheric gas oil, straight-run diesel fractions and visbreaking gasoline are used as raw materials. The process pressure is 7-9 MPa.

6) The Komsomolsk oil refinery has launched a deep refining unit for diesel fuel [5].

Thus, it is revealed that currently hydrogenation processes play a leading role for the processing of medium and heavy oil distillates. At the same time, the process of catalytic dewaxing is the most common way to improve the low-temperature properties of diesel fuels. The wide application of the catalytic dewaxing process at Russian refineries determines the relevance of its research.

1.2. The catalysts of the process of hydrodewaxing of diesel fuel

Catalysts of the hydrodewaxing process are a multicomponent system consisting of acid, hydrogenating components, and binder [11].

The acid component of the catalyst performs isomerizing and splitting functions. As the acid component zeolites and zeolite like molecular sieves -

silicoaluminophosphate are used. They are less sensitive to the effects of toxic compounds in raw materials and are highly selective in relation to normal paraffins [12].

Hydrogenating components contribute to the flow of isomerization reactions. Transition metals such as nickel, molybdenum, tungsten and platinum are used as hydrogenating components.

Binders increase the mechanical strength and reduce the rate of deactivation of catalysts by increasing the size of micropores. Aluminum oxide, silicon oxide, and amorphous aluminosilicate are used as the binding components. For the production of catalysts for hydro-catalytic processes, aluminum oxide is more often used, which does not interact with other components of the catalyst [12].

In the process of hydrodewaxing, normal paraffins are converted into isoparaffins. The main reactions are hydrocracking and hydroisomerization. The contribution of these reactions to the overall dewaxing process depends on the structure of the catalyst, temperature, and composition of the processed raw material. For example, hydrocracking is a more important reaction when producing diesel fuel and gasoline from vacuum gas oil and de-asphalted oil. These parameters must be taken into account when producing catalysts.

Hydroisomerization is one of the most important reactions for converting n-paraffins and n-olefins into the corresponding isomers. Cracking reactions occur in parallel with isomerization or sequentially. Catalysts used for cracking and isomerization reactions must have high acidic activity. In hydrocracking reactions, the acidity must be regulated to prevent the formation of large amounts of gaseous by-products and coke. Therefore, the used bifunctional catalysts must have good activity while simultaneously undergoing isomerization and hydrocracking reactions. In this case, you need to optimize the acid sites. For example, a catalyst with medium-acid and weak-acid sites may exhibit high activity in the isomerization reaction, but its activity in the hydrocracking reaction will be quite low [13].

Currently, many catalysts for dewaxing n-paraffins and n-olefins have been developed. The main components of these catalysts are different combinations of

active metals (for example, Pt and Pd) with zeolites. Molecular sieves of silica-alumina phosphates and catalysts based on sulfated zirconium are also of interest. Some studies have used active metals deposited on various carriers (SiO_2 , Al_2O_3 , and various carbon carriers).

Among zeolites, high selectivity was achieved when using zeolite with an average pore size of ZSM-5. Bendoraitis and Chester [14] noticed that ZSM-5 zeolite and Pt/mordenite exhibit molecular sieve properties.

A series of non-zeolitic catalysts was patented by Gillespie et al. The catalysts contain elements of the lanthanide series and components of the platinum group. They provide high performance and stability in the isomerization of n-paraffins. It is preferable to use holmium, yttrium, ytterbium, europium, cerium, or mixtures thereof as the first component, and the second component is platinum. Another type of isomerization catalyst consists of sulfated zirconium dioxide, as well as a component of the third group of the main subgroup and platinum. This catalyst has a high activity in the reactions of isomerization of n-paraffins into isoparaffins.

Currently, research in the development of new catalysts is continuing.

1.3. Deactivation of catalysts used in the process hydrodewaxing of diesel fuel

As a result of long-term operation of industrial catalysts in production conditions, the catalyst is deactivated. This leads to many negative consequences. Deactivation of the catalyst is accompanied by a change in the number of active acid and metal centers [19, 20], which affects the rate of cracking and hydrogenation reactions. This leads to a decrease in the conversion rate of n-paraffins in hydrogenation and dehydrogenation reactions.

Catalyst deactivation can occur as a result of sintering (thermal deactivation), poisoning, or blocking of active centers.

Operation of catalysts at elevated temperatures leads to a decrease in catalytic activity due to a decrease in the specific surface area and porosity of the catalyst. The sintering process occurs due to an increase in the contact area of small particles, the

formation of closed pores and their overgrowth. When applied metal, catalysts are used, large crystals are formed from small ones. Simultaneous sintering of the metal and the carrier is also possible. Increasing the stability of the catalyst to sintering is carried out by selecting appropriate carriers and stabilizing additives that reduce the ability of the deposited metal to migrate.

Poisoning of catalysts is caused by impurities present in the initial reagents or formed during the reaction itself. The catalytic poison is adsorbed on the active centers and reduces the activity of the catalysts. There are reversible and irreversible types of poisoning. In the first case, the activity can be restored if the source of poisoning is excluded. In the second case, the activity cannot be restored and the catalyst must be regenerated by special methods or replaced.

Sulfur, which is a part of petroleum raw materials and natural gas as an impurity, is a classic catalytic poison. Under reducing conditions, it turns into hydrogen sulfide, which is strongly adsorbed on the surface of metals and can form bulk sulfides, such as Ni_3S_2 from nickel metal.

Catalytic poisons can also change the selectivity of the catalyst. One of the mechanisms for this action is to block active centers. An alternative mechanism is that catalyst poisoning reduces the effect of diffusion on the selectivity of the catalyst.

Deactivation of catalysts can be the result of deposition on the surface of sufficiently large amounts of matter (up to 10-20 %). Blocking can be caused both by the reagents themselves and by deposits of impurities in the raw material. An example of the first type of blockage is the deposition of coke (carbon) formed from organic substances. An example of the second type of blockage is the deposition of metals during the decomposition of organo-metal compounds contained in oils [20].

The operating age of the catalysts used for dewaxing should be about two years. Raw materials for the dewaxing process do not contain impurities, because they are preliminary hydrotreating. Therefore, the main reasons for deactivation of the catalyst should be the deposition of coke and poisoning it with nitrogen compounds. However, the content of nitrogenous bases should not exceed several

ppm of nitrogen if the dewaxing catalysts contain noble metals. These catalysts can be poisoned with hydrogen sulfide. Therefore, before dewaxing deep hydrodesulfurization and hydrodenitrogenation feedstocks are required [13].

Let us consider the deactivation of nickel-containing catalyst. Deactivation of metal sections of Ni-containing catalyst in the process of coking occurs by several mechanisms: chemisorption of a monolayer or physical adsorption of poly-layers of hydrocarbons that block the access of reagents to the catalytic sites on the metal surface; blocking of Ni metal particles and their complete deactivation; deposition in the pores of the catalyst, which prevents the access of reagents to the active sites of the catalyst; formation of carbon crystals. In addition, growing coke crystals on the surface of the catalyst destroy the catalyst, which leads to an increase in the pressure drop in the reactor.

Employees of TPU conducted research on the effect of reducing the activity of the catalyst on the yield of the product and its maximum filterability temperature. When the catalyst activity decreases by 0.6 relative units, the maximum filterability temperature of the product increases by 4 °C. This is due to the fact that the maximum filterability temperature depends on the content of n-paraffins, the lower the content of n-paraffins, the lower the maximum filterability temperature. Under approximately the same operating conditions, the conversion of n-paraffins in the target hydrocracking reaction decreases, and the content of n-paraffins in the product becomes higher than the content of n-paraffins at a higher activity of the catalyst.

If the catalyst activity decreases by 0.6 relative units, the product yield increases by 2.6 %. Changing the ratio between acidic and metallic active sites also affects the ratio of diesel fuel output to gasoline. With an increase in the degree of catalyst deactivation, the yield of the gasoline fraction increases due to cracking reactions, and the yield of diesel fractions increases due to an increase in the yield of the non-converted heavier part of the raw fraction [22].

Therefore, the activity of the catalyst has a significant effect on the filterability limit temperature and product yield. Therefore, if you change the composition of the feedstock and the catalyst activity in the catalytic dewaxing

process, it is necessary to support such processing modes that deliver the product of desired quality with high yield and minimal cost. Optimum performance can be determined using a mathematical model of the process.

1.4. Influence of the chemical composition of fuels on the performance of diesel engines

Diesel fuel is used for the operation of high-speed diesel and gas turbine land and ship equipment. The quality of diesel fuel must meet certain requirements for safe operation of engines. The quality of diesel fuel is determined by the performance indicators of diesel fuel. These include the self-ignition point, cetane number, fractional composition, as well as the viscosity, density, surface tension and low-temperature properties of diesel fuels.

Hypergolicity of fuel characterizes its ability to self-ignite in the engine. The self-ignition point of liquid hydrocarbons and their mixtures depends on the pressure, air – fuel ratio, evaporation conditions, and heat transfer rate. N-paraffins have the lowest self-ignition temperature, with an increase in the number of carbon atoms in the molecule, the self-ignition temperature decreases. Benzene has the highest auto-ignition temperature. With an increase in the number of carbon atoms in the chain of the alkyl substituent, the auto-ignition temperature decreases. The self-ignition point of cycloparaffins is higher than that of n-paraffins and lower than that of aromatic hydrocarbons.

Propensity to self-ignition of diesel fuel is determined by a scale of cetane numbers. The cetane number is a characteristic of the diesel oil flammability. Flammability determines the period of delay in ignition of the fuel-air mixture. The higher the cetane number, the lower the delay and the more calmly and smoothly the fuel mixture burns. Numerically, the cetane number is equal to the volume fraction of cetane ($C_{16}H_{34}$, hexadecane), whose cetane number is 100, mixed with α -methyl naphthalene (CN = 0).

The cetane number decreases with the branching of paraffin chains to a greater extent, the more branched the chain is. As the number of carbon atoms in an

unbranched chain increases, the cetane numbers of all classes of hydrocarbons increase. The value of the cetane number affects the performance of diesel engines.

Fractional composition is an important characteristic of fuel. The fractional composition affects the fuel combustion process. The quality of its sputtering and the completeness of combustion directly depend on the fractional composition. With a high content of light hydrocarbons in the composition of diesel fuel, much less oxygen is required for its combustion. The process of mixing for this fuel is more complete and there is an increase in the rigidity of the engine.

Viscosity is an important parameter of the quality of diesel fuel. It affects the quality of mixing and atomization. As the fuel density increases, its viscosity increases, resulting in the formation of larger fuel droplets when injected by the injector. But increasing the viscosity leads to a decrease in the pumpability of diesel fuel at low temperatures.

The density and surface tension of diesel fuel, along with the viscosity, affect the quality of spraying. When the density and surface tension of the fuel increase, the size of the injected fuel drops increases, which leads to an increase in the fuel combustion time [24].

Low temperature properties are one of the main criteria for the operational efficiency of diesel fuels that are used in cold climate zones. Low temperature properties characterize the ability of the engine power system to function at negative ambient temperatures, as well as under fuel storage conditions.

Low-temperature properties are characterized by a solidification temperature, a turbidity temperature, and a filterability limit temperature (PTF).

Turbidity temperature – the temperature at which the first paraffin crystals begin to fall out of the fuel, which grow with a further decrease in temperature, join together and settle on the filters through which the fuel is passed to purify it from mechanical impurities. The cloud point is the temperature at which the phase inhomogeneity of the fuel is visually observed [8].

The pour point is the temperature at which diesel fuel loses its mobility when tilted at a 45 °C angle for 1 minute. You can restore fluidity for a while by mixing the

solidified fuel, but then it usually solidifies again. The difference between the solidification and cloud point, depending on the chemical composition, ranges from 5 to 15 °C.

The cold filter plugging point is one of the main low temperature properties. This temperature is determined by filtering the specified volume of fuel at the specified temperature for a certain period of time. The cold filter plugging point for summer diesel fuel, according to GOST, is minus 5, for winter – minus 25 °C.

It is possible to improve the low temperature properties of diesel fuels by adding depressant additives or removing high-molecular paraffins of normal structure from their composition.